

LES INFRASTRUCTURES VERTES ET LES SYNERGIES POSSIBLES POUR FAVORISER L'ATTÉNUATION ET  
L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Par  
Beatriz Osorio Rodriguez

Essai présenté au Centre universitaire de formation  
en environnement et développement durable en vue  
de l'obtention du grade de maîtrise en environnement (M. Env.)

Sous la direction de François Lafortune

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT  
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Juillet 2020

## SOMMAIRE

Mots clés : changements climatiques, adaptation, atténuation, synergies, infrastructures vertes, villes

La Terre se réchauffe rapidement et il est impératif d'agir maintenant afin d'éviter les graves conséquences qu'une augmentation de la température de plus de 1,5 °C pourrait avoir sur la planète. L'atténuation et l'adaptation sont les deux stratégies préconisées pour faire face aux changements climatiques. Considérées comme des démarches complémentaires, elles sont souvent abordées séparément dans les politiques, les plans et les stratégies mis en place pour s'attaquer aux changements climatiques. En raison de l'urgence climatique, il est nécessaire d'agir simultanément sur les deux fronts et de favoriser le plus possible l'émergence de synergies entre elles. En tant qu'acteurs de premier plan dans la lutte contre les changements climatiques, les villes possèdent des leviers pour agir, notamment par l'implantation d'infrastructures vertes. Le présent essai vise à identifier les synergies potentielles pour l'atténuation et l'adaptation associées à la mise en place de ces infrastructures ainsi qu'à mieux comprendre les facteurs et les mécanismes favorisant la création de ces synergies.

Quatre études de cas de villes canadiennes sont présentées et analysées afin d'identifier les facteurs et les mécanismes potentiels favorisant la création de synergies. Ces villes ont mis en place des infrastructures vertes en utilisant divers outils de planification (stratégies, plans, règlements). L'analyse a permis de confirmer que les villes reconnaissent la contribution simultanée des infrastructures vertes à l'atténuation et à l'adaptation. Quatre facteurs ayant le potentiel de favoriser les synergies atténuation-adaptation à l'échelle municipale ont été identifiés: i) le traitement combiné de l'atténuation et de l'adaptation dans les outils de planification étudiés, ii) l'acquisition de connaissances et la création de l'expertise, iii) l'engagement et la certitude des bienfaits des infrastructures vertes, et iv) la capacité d'obtenir ou de générer du financement. Le fait d'élaborer des outils de planification pour les infrastructures vertes en utilisant des processus participatifs ainsi que l'intégration de ces outils de planification aux objectifs d'autres politiques et stratégies développés par les villes sont eux aussi des mécanismes favorisant la création des synergies. Sur la base des facteurs et des mécanismes qui ont été clairement identifiés, il est possible d'affirmer, au moins de façon préliminaire, que des synergies atténuation-adaptation existent dans les études de cas décrites. La réalisation des évaluations coûts-avantages ou des évaluations intégrées permettra de rendre tangibles ces synergies en quantifiant la valeur de leurs effets positifs ou en identifiant des indicateurs de mise en œuvre.

## REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements vont à mon directeur d'essai, monsieur François Lafortune, enseignant au CUFÉ de l'Université de Sherbrooke, pour son appui indéfectible pendant ces huit derniers mois. Monsieur Lafortune, merci beaucoup pour votre temps et vos conseils ainsi que pour votre patience et votre compréhension. Votre soutien a été indispensable afin de relever ce défi.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude à monsieur Robert Siron pour ses conseils d'expert qui m'ont permis d'améliorer le contenu de cet essai. Je tiens également à remercier mon amie Anne Debrabandere pour son aide généreuse lors de la correction et la révision du texte.

Enfin, un énorme merci à mes amis Heidy, Caroline et Raul pour leur soutien inconditionnel pendant toute la durée de mes études. Sans vos encouragements, surtout pendant la période difficile de la pandémie de la COVID-19, je n'aurais pas pu finir la rédaction de cet essai.

Finalement, j'aimerais remercier mes parents et mon frère qui me soutiennent depuis toujours. Votre soutien moral — même à très grande distance — m'a encouragée et m'a donné la force de traverser tous les défis et épreuves que j'ai rencontrés lors de mon parcours.

## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	1
1. ATTÉNUATION ET ADAPTATION EN MILIEU URBAIN .....	3
1.1 Les villes et l'atténuation .....	3
1.1.1 Les inventaires des émissions de GES .....	6
1.1.2 Les plans de réduction des émissions de GES à l'échelle municipale .....	7
1.2 Les villes et l'adaptation .....	8
1.2.1 Les plans d'adaptation aux changements climatiques .....	10
1.3 Les barrières et les leviers à l'action climatique en milieu municipal .....	11
2. SYNERGIES ENTRE L'ATTÉNUATION ET L'ADAPTATION .....	13
2.1 Synergies, cobénéfices, compromis et antagonismes .....	15
2.2 Synergies entre l'atténuation et l'adaptation en milieu urbain .....	20
2.3 Avantages et défis dans la création de synergies atténuation-adaptation en milieu urbain .....	21
3. LES INFRASTRUCTURES VERTES .....	22
3.1 Classification .....	23
3.1.1 Canopée urbaine .....	24
3.1.2 Espaces publics végétalisés .....	25
3.1.3 Toits verts .....	25
3.1.4 Structures verticales vertes .....	26
3.1.5 Infrastructures vertes de gestion des eaux pluviales .....	26
3.1.6 Infrastructures vertes associées aux aménagements piétonniers et cyclables .....	26
3.2 Les infrastructures vertes et la lutte contre les changements climatiques .....	27
3.2.1 Réduction des effets des pluies intenses et des inondations .....	27
3.2.2 Réduction des effets des vagues de chaleur et des îlots de chaleur urbains .....	28
3.2.3 Augmentation de la résilience des écosystèmes urbains et des populations .....	29

3.2.4 Séquestration et stockage du carbone .....	30
3.2.5 Réduction de la consommation d'énergie .....	31
3.3 Les infrastructures vertes et leur contribution à la création de synergies atténuation-adaptation .....	32
3.4 Leviers et barrières à l'implantation des infrastructures vertes en milieu municipal .....	32
4. ÉTUDES DE CAS.....	36
4.1 Étude de cas 1 : Ville de Toronto.....	36
4.2 Étude de cas 2 : Ville de Vancouver .....	39
4.3 Étude de cas 3 : Ville de Montréal .....	40
4.4 Étude de cas 4 : Ville de Beloeil.....	43
5. ANALYSE DES ÉTUDES DE CAS .....	46
5.1 Facteurs potentiels favorisant la création de synergies atténuation-adaptation .....	46
5.2 Mécanismes potentiels favorisant des synergies atténuation-adaptation .....	49
5.3 Synergies atténuation-adaptation dans les études de cas.....	52
6. RECOMMANDATIONS .....	54
CONCLUSION .....	55
RÉFÉRENCES .....	57
BIBLIOGRAPHIE.....	71

## LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1	Prévisions d'augmentation des émissions de GES selon un scénario de maintien du statu quo dans les villes C40.....	4
Figure 2.1	Schéma montrant les différences entre complémentarité (cobénéfices) et synergie.....	16
Figure 2.2	Synergies, cobénéfices, compromis et antagonismes.....	18
Figure 3.1	Types des infrastructures vertes en fonction du continuum vert à gris.....	24
Figure 4.1	Toit vert sur l'édifice <i>City Hall</i> à Toronto.....	37
Figure 4.2	Cellule de biorétention, <i>East Fraser Lands</i> , Vancouver.....	40
Figure 4.3	Canopée urbaine à Montréal.....	41
Figure 4.4	Bande centrale filtrante végétalisée (biorétention) proposée sur la rue Duvernay, Ville de Beloeil.....	45
Figure 5.1	Événements marquants lors du développement du règlement sur les toits verts de la Ville de Toronto.....	48
Figure 5.2	Phases de développement de la <i>Rain City Strategy</i> de la Ville de Vancouver.....	50
Figure 5.3	Interdépendances et relations de la <i>Rain City Strategy</i> avec d'autres stratégies de la Ville de Vancouver .....	52
Tableau 1.1	Quelques exemples des actions mises en œuvre pour réduire l'empreinte carbone des villes.....	8
Tableau 1.2	Quelques exemples d'actions d'adaptation en fonction des aléas climatiques.....	12
Tableau 2.1	Différences entre l'atténuation et l'adaptation.....	14
Tableau 2.2	Quelques exemples de synergies identifiées dans divers secteurs.....	17
Tableau 3.1	Définitions des infrastructures vertes.....	22
Tableau 3.2	Contribution des infrastructures vertes à la lutte contre les changements climatiques.....	33
Tableau 4.1	Principales stratégies d'aménagement d'infrastructures vertes proposées dans le Plan de lutte contre les îlots de chaleur et le ruissellement de la Ville de Beloeil.....	44
Tableau 5.1	Bénéfices des infrastructures vertes pour l'atténuation et l'adaptation identifiés dans les études de cas.....	46

Tableau 5.2	Facteurs favorisant la création de synergies atténuation-adaptation observés dans les études de cas.....	49
-------------	--	----

## LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

°C	degré Celsius
\$	Dollar
AEE	Agence européenne pour l'environnement
AFOLU	<i>Agriculture, Forestry and Other Land Use</i>
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
CO <sub>2</sub> e	Équivalent CO <sub>2</sub>
CNC	Conservation de la nature Canada
FCM	Fédération canadienne de municipalités
G\$	Milliards de dollars
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat
Kg	Kilogramme
m <sup>2</sup>	mètre carré
M\$	Million de dollars
MDD	Maison du développement durable
Mt CO <sub>2</sub> e	Millions de tonnes d'équivalent CO <sub>2</sub>
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MSP	Ministère de la Sécurité publique
PM <sub>10</sub>	Particules de moins de 10 microns
PDDCM	Plan de développement durable de la collectivité montréalaise
PGIEP	Plan de gestion intégrée des eaux pluviales
PMAD	Plan métropolitain d'aménagement et de développement
RNCREQ	Regroupement national des conseils régionaux de l'environnement
RGTH	Région métropolitaine du Grand Toronto et de Hamilton
RNCan	Ressources naturelles Canada
Soverdi	Société de verdissement du Montréal métropolitain
TAF	<i>The Atmospheric Fund</i>
UN-DESA	<i>United Nations Department for Economic and Social Affairs</i>
UICN	Union pour la conservation de la nature



## LEXIQUE

<b>Adaptation</b>	Démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu ainsi qu'à ses conséquences. Pour les systèmes humains, il s'agit d'atténuer ou d'éviter les effets préjudiciables et d'exploiter les effets bénéfiques. Pour certains systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat attendu ainsi qu'à ses conséquences (Allwood et al., 2014, p. 1251).
<b>Aléa climatique</b>	Phénomène, manifestation physique ou activité humaine susceptible d'occasionner des pertes de vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement. Chaque aléa est, entre autres, caractérisé en un point donné, par une probabilité d'occurrence et une intensité données (Ministère de la Sécurité publique [MSP], 2013).
<b>Atténuation</b>	Intervention humaine visant à réduire les sources ou à renforcer les puits de gaz à effet de serre (GES) (Allwood et al., 2014, p. 1266).
<b>Évapotranspiration</b>	L'évapotranspiration est une émission de vapeur d'eau qui résulte de deux mécanismes : l'évaporation (avec la chaleur, l'eau contenue dans le sol ou le substrat passe de l'état liquide à l'état gazeux) et la transpiration (l'eau est éliminée par les feuilles sous forme de vapeur, les végétaux transpirant pour maintenir la température de leurs feuilles à des valeurs proches de la température de l'air (Feix, Marquet et Thibier, 2018, p. 58).
<b>Îlot de chaleur urbain</b>	Différence de température observée entre les milieux urbains et les zones rurales environnantes. De façon plus générale, l'intensité de cette différence de température peut changer sur une base quotidienne et saisonnière, en fonction des conditions météorologiques (p. ex. : température, vent) et des activités humaines (p. ex. : chaleur émise par les industries, les véhicules moteurs) (Giguère, 2010; Ville de Montréal, 2017).
<b>Indice de canopée</b>	Indice pour comptabiliser la canopée urbaine qui considère la superficie occupée par la projection au sol de la couronne de chaque arbre d'un territoire par rapport à la superficie de celui-ci (Ville de Montréal, s. d.b).
<b>Infrastructure grise</b>	Infrastructure traditionnelle (ou traditionnellement construite), comme les usines d'épuration des eaux usées, les digues, les conduites et les levées. L'infrastructure grise est traditionnellement l'option la plus courante dans la lutte contre les dangers climatiques (ICF, 2018).

<b>Maladaptation</b>	La maladaptation fait référence aux actions qui pourraient conduire à un accroissement des risques et des vulnérabilités aux changements climatiques ou à la réduction du bien-être, dans le présent et/ou dans le futur (Noble et al., 2014).
<b>Malatténuation</b>	La malatténuation se produit lorsque la réduction des émissions de GES réduit la capacité d'adaptation (Sidi, 2012).
<b>Phytotechnologie</b>	Technologies bâties par l'intervention humaine qui utilisent les plantes vivantes pour optimiser la livraison de divers services écosystémiques. Dans les phytotechnologies, les plantes et leurs alliés fongiques ou bactériens travaillent en synergie (Société québécoise de phytotechnologie, 2017).
<b>Services écosystémiques</b>	Bénéfices que les humains retirent de la nature ou des infrastructures vertes. Il y a quatre catégories : services d'approvisionnement, services de régulation, services de soutien et services culturels (Milliken, 2018).
<b>Toit blanc</b>	Toit conçu pour refléter plus de lumière solaire et absorber moins de chaleur qu'un toit standard. Les matériaux pour installer un toit blanc incluent un type de peinture hautement réfléchissant, une membrane blanche ou de tuiles hautement réfléchissantes (C40 Cities, 2018).
<b>Risque climatique</b>	La combinaison de la probabilité d'occurrence d'un événement climatique et de ses conséquences pouvant en résulter sur les éléments vulnérables d'un milieu donné (Ouranos, 2010).

## INTRODUCTION

Les derniers rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) confirment que les émissions anthropiques des gaz à effet de serre (GES) sont les principales responsables des changements climatiques actuels (GIEC, 2018, 2019). Il faut s'attendre dès aujourd'hui à un réchauffement mondial de 1,5 à 2 °C en 2050 et de 3 à 4 °C au Québec (Ouranos, 2016). Si la température augmente de plus de 1,5 °C, les conséquences qui s'observent déjà sur l'ensemble des secteurs et des activités à l'échelle planétaire seront encore plus graves (GIEC, 2018). Afin d'éviter un emballement climatique majeur et potentiellement irréversible, il est urgent d'accroître radicalement les efforts, tant pour réduire les émissions de GES que pour s'adapter à la nouvelle réalité climatique qui s'installe (Ouranos, 2016, 2019). Autrement dit, il est nécessaire d'atténuer les émissions de GES et de s'adapter aux conséquences des changements climatiques.

Or, l'atténuation et l'adaptation sont souvent abordées séparément dans les politiques, les plans et les stratégies développés pour faire face aux changements climatiques. Plusieurs causes pourraient expliquer une telle situation. D'abord, « atténuation » et « adaptation » sont des termes qui s'opposent : l'un s'attaque aux causes, l'autre aux conséquences (Stetter, 2016, 21 juin). Des différences existent également en ce qui concerne les approches et les périmètres d'application (Bertrand et Richard, 2015). Ainsi, l'atténuation et l'adaptation agissent à différentes échelles temporelles et spatiales et elles concernent différents acteurs et niveaux de collaboration (Duguma, Minang et van Noordwijk, 2014; Shrestha et Dhakal, 2019). Malgré ces différences, le fait d'agir simultanément sur les deux fronts apparaît de plus en plus indispensable, alors que des synergies possibles entre l'atténuation et l'adaptation commencent à être identifiés dans plusieurs secteurs (Clavet-Gaumont et Huard, 2016; Di Gregorio et al., 2017; Hennessey, Pittman, Morand et Douglas, 2017; Morita et Matsumoto, 2018) et à différentes échelles (Pasimeni, Valente, Zurlini et Petrosillo, 2019; Shrestha et Dhakal, 2019; Shaw, Burch, Kristensen, Robinson et Dale, 2014; Reckien et al., 2018).

Aux échelles locales et régionales, les villes sont des acteurs cruciaux dans les efforts pour atténuer les changements climatiques et pour s'y adapter (Reckien et al., 2018). En tant qu'émetteurs importants de GES et abritant de grandes populations, dont certaines sont vulnérables aux impacts négatifs causés par les changements climatiques et aux risques qui y sont reliés, les villes doivent mettre en œuvre des solutions climatiques intégrales qui soutiennent à la fois l'atténuation et l'adaptation. Parmi les multiples voies possibles, les solutions basées sur la nature, et plus précisément les infrastructures vertes,

démontrent un grand potentiel de diminution des impacts négatifs des changements climatiques et contribuent à l'adaptation et à la résilience des villes (Frantzeskaki et al., 2019). En effet, l'implantation d'infrastructures vertes permet de contribuer aux besoins en matière d'atténuation et d'adaptation, et ce, tout en soutenant le bien-être humain et le développement durable. Les principaux objectifs de cet essai sont d'identifier les synergies potentielles pour l'atténuation et l'adaptation associées à la mise en place de ces infrastructures et de mieux comprendre les facteurs et mécanismes favorisant leur mise en application.

Afin d'y arriver, quatre objectifs précis sont poursuivis, à raison d'un objectif par chapitre. Le premier consiste à présenter un portrait général du rôle des villes dans l'atténuation et l'adaptation et à identifier les principales actions qu'elles réalisent à cet effet. Le deuxième objectif est de mieux comprendre le terme « synergie » et d'identifier les synergies entre l'atténuation et l'adaptation observées en milieu urbain. Le troisième objectif est de décrire les principaux types d'infrastructures vertes à l'échelle urbaine et d'identifier les synergies potentielles qu'ils offrent en matière d'atténuation et d'adaptation. Le quatrième objectif, quant à lui, est d'identifier, de décrire et d'analyser des études de cas illustrant des exemples de facteurs et de mécanismes favorisant la création de synergies entre l'atténuation et l'adaptation lors de la mise en place d'infrastructures vertes à l'échelle municipale. L'essai se conclut par des recommandations pour favoriser la création des synergies et/ou pour prévenir des situations de malatténuation ou de maladaptation lors de la mise en place d'infrastructures vertes en milieu municipal.

La méthodologie suivie pour cet essai consiste principalement en une revue de la littérature basée sur des informations publiées dans des articles de revues scientifiques, des rapports gouvernementaux, des rapports d'organisations reconnues et des pages web spécialisées. La recherche d'information a également permis l'identification des quatre études de cas qui ont été sélectionnées pour leur potentiel à illustrer la création des synergies atténuation-adaptation lors de la mise en place d'infrastructures vertes à l'échelle urbaine. La qualité, l'accessibilité et l'actualité de l'information existante sur les études de cas ont été des critères supplémentaires au moment d'en faire le choix. L'analyse a été faite en tenant compte de la contribution à l'atténuation et à l'adaptation des infrastructures vertes décrites dans les études de cas ainsi que des outils et des mécanismes associés à leur mise en place. Des facteurs potentiels favorisant la création de synergies atténuation-adaptation ont été identifiés par la suite, ce qui a permis de confirmer si l'implantation des infrastructures vertes proposées dans les études de cas a, oui ou non, contribué à créer un effet synergique atténuation-adaptation.

## **1. ATTÉNUATION ET ADAPTATION EN MILIEU URBAIN**

Le consensus scientifique sur les changements climatiques est sans équivoque. Le climat mondial s'est déjà réchauffé de plus de 1 °C par rapport à l'ère préindustrielle et au rythme où augmentent les émissions actuelles, le réchauffement climatique atteindra 1,5 °C entre 2030 et 2052 (GIEC, 2018). Le Canada, par exemple, s'est réchauffé et continuera à se réchauffer deux fois plus vite que la moyenne mondiale au cours des prochaines années (Bush et Lemmen, 2019). Au Québec, les températures sont aussi à la hausse avec un réchauffement de 1 à 3 °C, selon les régions. Ce réchauffement devrait atteindre les 3 à 4 °C en 2050 (Ouranos, 2016).

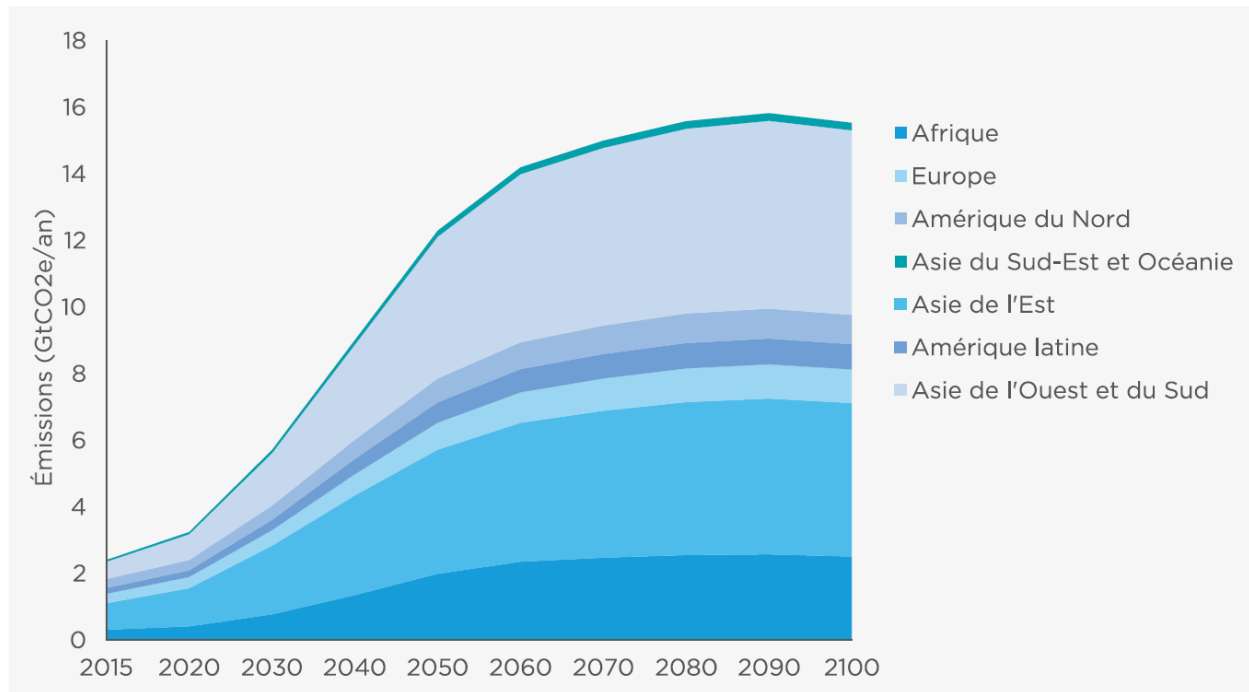
Les impacts négatifs associés aux changements climatiques sont déjà visibles un peu partout sur la planète et ont des répercussions à grande échelle sur l'ensemble des secteurs et des activités. À l'échelle locale et régionale, les villes ont un rôle primordial à jouer dans les efforts pour atténuer les changements climatiques et s'y adapter (Reckien, Flacke, Olazabal et Heidrich, 2015). En effet, en tant qu'émetteurs significatifs de GES et abritant de grandes populations potentiellement vulnérables aux impacts et aux risques provoqués par les changements climatiques, les villes endossent un double rôle de leader afin de réduire les émissions de GES et de s'adapter aux changements climatiques (Ouranos, 2019).

### **1.1 Les villes et l'atténuation**

Les villes sont responsables d'environ 70 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> et elles consomment plus des deux tiers de l'énergie mondiale (C40 Cities, 2012; Mi et al., 2019; United Nations Department for Economic and Social Affairs [UN-DESA], 2019). Cette importante empreinte carbone est principalement causée par le fort taux d'urbanisation ainsi que par les activités économiques. En effet, les villes sont productrices de la plupart des biens de consommation et de services (Mauree et al., 2019). De plus, elles abritent en ce moment environ 55 % de la population mondiale, pourcentage qui devrait augmenter à 68 % d'ici 2050 (UN-DESA, 2019). Cette croissance anticipée de la population urbaine implique la construction ou la réhabilitation des infrastructures et du cadre bâti, ce qui risque d'augmenter encore plus la demande énergétique des villes et, en conséquence, leurs taux d'émissions de GES (Bazaz et al., 2018).

En tenant compte d'un scénario où l'on maintiendrait le statu quo, c'est-à-dire un scénario dans lequel aucune mesure n'est prise pour limiter la croissance ni les explosions démographiques et économiques;

les émissions annuelles des 96 plus grandes villes du monde, incluant Toronto, Montréal et Vancouver, se verraient multipliées par plus de 7 d'ici 2100 (figure 1.1) (C40 Cities et Arup, 2019). Ces villes accueillent actuellement plus d'un demi-milliard de personnes, produisent un quart du PIB mondial et émettent 70 % des émissions mondiales de GES (C40 Cities, 2017a).



**Figure 1.1 Prévisions d'augmentation des émissions de GES selon un scénario de maintien du statu quo dans les villes C40** (tiré de : C40 Cities et Arup, 2019, p. 27).

À l'échelle mondiale, les émissions de GES sont attribuables principalement aux secteurs de l'approvisionnement en énergie (47 %), de l'industrie (30 %), des transports (11 %) et du bâtiment (3 %) (GIEC, 2015). À l'échelle urbaine, par contre, les principaux secteurs émettant des GES sont les transports, les bâtiments et les matières résiduelles (C40 Cities et Arup, 2019; Santiago Fink, 2016). En 2015, par exemple, le secteur du bâtiment a été responsable de 70 % des émissions de GES de la ville de New York, suivi par le secteur des transports (23 %) et le secteur des matières résiduelles (5 %) (C40 Cities et Arup, 2019). Cette même année, la région métropolitaine du Grand Toronto et de Hamilton (RGTH), un des principaux centres urbains du Canada, a produit 48 Mt CO<sub>2</sub>e (The Atmospheric Fund [TAF], 2018). De ce total, 44 % correspondaient au secteur du bâtiment, 33 % au secteur des transports et 19 % au secteur industriel (TAF, 2018). Au Québec, les émissions totales de GES de l'agglomération de Montréal ont été de

12 Mt CO<sub>2</sub>e en 2014, le secteur des transports étant le principal responsable des émissions de GES (40 % de l'ensemble des émissions), suivi par le secteur industriel (20 %) et les secteurs commercial et institutionnel (15 %) (Ville de Montréal, 2018).

Si les villes émettent une portion significative de GES, elles peuvent aussi jouer un rôle fondamental dans leur réduction par l'entremise de leurs politiques (stratégies, plans, règlements, etc.) (Guyadeen, Thistlethwaite et Henstra, 2019). D'abord, comme les municipalités sont les instances gouvernementales les plus proches des citoyens et des entreprises, elles sont les plus à même de les influencer par la mise en œuvre d'actions locales visant à réduire les émissions de GES en agissant comme des organismes de réglementation, des facilitateurs, des partenaires, des fournisseurs de services et des éducateurs (EnviroEconomics, 2009; Équiterre et Regroupement national des conseils régionaux de l'environnement [RNCREQ], 2015a; Guyadeen et al., 2019). Ensuite, compte tenu de la quantité d'émissions associées aux environnements urbains, l'action climatique des villes peut sans doute contribuer au respect des engagements pris par les gouvernements en matière de réduction des émissions de GES<sup>1</sup> (Reckien et al., 2018; Tollin, Hamhaber, Grafakos, Lwasa et Morato, 2017). Ainsi, en agissant ensemble, les 96 plus grandes villes du monde pourraient réduire les émissions annuelles de GES de 13 gigatonnes CO<sub>2</sub>e d'ici 2050 : ce qui serait l'équivalent d'une réduction de plus de la moitié de la consommation annuelle mondiale de charbon (Rosenzweig et al., 2018). Au Canada, les administrations municipales contrôlent ou ont une influence sur environ la moitié de toutes les émissions de GES du pays (ICLEI et Fédération canadienne de municipalités [FCM], 2018).

Conscientes de leur rôle, les villes cherchent de plus en plus à réduire leurs émissions de GES actuels et futurs. Pour ce faire, elles s'engagent en général dans une démarche comprenant au moins cinq étapes : i) la réalisation d'un inventaire des émissions de GES, ii) l'établissement d'un objectif de réduction des émissions de GES, iii) l'élaboration d'un plan d'action pour atteindre cet objectif, iv) la mise en œuvre des actions de réduction et v) le suivi des résultats avec des indicateurs de performance (Connor, Clermont et Joly, 2019; Pasimeni et al., 2019). Deux outils clés soutiennent les villes dans cette démarche : les inventaires des émissions de GES et les plans de réduction des émissions de GES.

---

<sup>1</sup> Le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de GES de 30 % sous les niveaux de 2005, qui étaient de 732 Mt CO<sub>2</sub>e, d'ici 2030 (Gouvernement du Canada, 2020). De son côté, le Québec s'est doté d'une cible de réduction des émissions de GES de 37,5 % sous le niveau de 1990 d'ici 2030 (Gouvernement du Québec, 2019). Cette cible est la plus ambitieuse au Canada et elle est cohérente avec l'urgence d'agir face aux changements climatiques (Gouvernement du Québec, 2019).

### 1.1.1 Les inventaires des émissions de GES

Les inventaires des émissions de GES permettent aux administrations locales d'identifier et de comptabiliser les principales sources d'émissions de GES sur leur territoire (ICLEI et FCM, 2019). Parfois, les inventaires des émissions de GES incluent aussi des projections des émissions futures en tenant compte de différents scénarios et hypothèses (Stevens et Senbel, 2017). La comptabilisation et la déclaration des émissions de GES à l'échelle locale constituent un domaine bien établi et plusieurs protocoles et normes existent pour guider et réaliser ces inventaires. Récemment, par exemple, l'ICLEI et la FCM (2019) ont identifié environ 24 normes et protocoles différents qui sont à la disposition des gouvernements locaux pour réaliser les inventaires des émissions de GES.

En général, les inventaires élaborés par les municipalités contiennent deux sections. La première section est consacrée à la comptabilisation des émissions de GES attribuables aux activités et aux services de la municipalité; c'est donc un inventaire corporatif. La deuxième section vise à quantifier les émissions de GES produites par les activités des citoyen(ne)s sur l'ensemble du territoire de la municipalité. C'est donc un inventaire de la communauté (Connor et al., 2019; ICLEI et FCM, 2019). Les sources d'émissions de GES qui sont considérées dans l'inventaire corporatif proviennent notamment des bâtiments municipaux, de l'éclairage, des véhicules municipaux, des usines de traitement des eaux usées et des activités des sous-traitants (Connor et al., 2019). De son côté, l'inventaire de la collectivité inclut, entre autres, les émissions provenant des sources suivantes : la gestion des matières résiduelles, le transport des citoyen(nes), les bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels et l'agriculture (Connor et al., 2019).

D'après 248 inventaires réalisés par des municipalités québécoises entre 2009 et 2012, les deux secteurs ayant le plus d'émissions de GES dans la partie consacrée à l'inventaire de la communauté sont le transport routier (91 %) et le traitement des matières résiduelles (7 %). Les deux secteurs représentent 98 % des émissions de GES (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MELCC], 2018).<sup>2</sup> Pour le secteur corporatif, la principale source d'émissions de GES était les véhicules et les équipements motorisés avec 45 % du total des émissions, suivie par le secteur des bâtiments municipaux (30 %) et le secteur du traitement des eaux usées (25 %) (MELCC, 2018).

---

<sup>2</sup> Il est important de préciser que ces résultats excluent les émissions provenant des secteurs suivants : i) industriel, commercial et institutionnel (ICI), ii) transports aérien, maritime et ferroviaire, iii) résidentiel et iv) agricole. Ces données n'étaient pas disponibles pour l'ensemble des municipalités évaluées.



### 1.1.2 Les plans de réduction des émissions de GES à l'échelle municipale

Sur la base des résultats obtenus dans l'inventaire de leurs GES, les villes définissent un objectif de réduction de leur empreinte carbone ainsi qu'une stratégie à mettre en place pour l'atteindre. Cette stratégie prend souvent la forme d'un plan de réduction des émissions de GES, qui décrit des actions concrètes pour atteindre l'objectif fixé ainsi que les moyens de mise en place et de suivi des actions proposées. Parfois, les municipalités incluent des cibles ou des actions de réduction des émissions de GES dans d'autres outils de planification existants pour l'aménagement du territoire, pour les transports ou la gestion des risques (Équiterre et RNCREQ, 2015a). Ainsi, 3 des 20 objectifs du *Greenest City Action Plan 2020* de la Ville de Vancouver ciblent la réduction des émissions de GES (City of Vancouver, 2019b).

En général, les actions de réduction incluses dans les plans de réduction des émissions de GES ciblent principalement les secteurs qui ont les plus grandes empreintes carbone, c'est-à-dire, les secteurs de l'énergie, des transports, des bâtiments et de la gestion des matières résiduelles (C40 Cities, 2017b; C40 Cities, Arup et University of Leeds, 2019). Une étude réalisée par l'ICLEI et la FMC (2018) a démontré que ces secteurs sont effectivement les plus importants pour la plupart des municipalités canadiennes. Ainsi, les 43 municipalités participant à leur programme Partenaires pour la protection climatique ont centré leurs actions de réduction de GES dans les secteurs suivants : bâtiment résidentiel (22 %), bâtiments institutionnels et commerciaux (16 %), transports (10 %), gestion de matières résiduelles (27 %) et énergie (25 %). Quelques exemples d'actions précises pour chacun de ces secteurs sont présentés dans le tableau 1.1.

Les mesures proposées dans les plans de réduction de GES peuvent, en général, être classées selon trois types : quantifiables, non quantifiables et ayant des cobénéfices (Gauthier-Ouellet, Martel et Watremez, 2013). Les actions quantifiables sont celles qui entraînent une réduction directe et mesurable des émissions de GES (Gauthier-Ouellet et al., 2013). L'installation d'un système de capture de méthane dans les sites d'enfouissement en est un exemple. Les mesures non quantifiables incluent des actions dont l'impact sur la réduction des GES est difficile à mesurer (Gauthier-Ouellet et al., 2013). Les campagnes de sensibilisation auprès des citoyens en sont un exemple. Finalement, les actions ayant des cobénéfices sont celles dont la réduction des GES est plutôt un effet indirect de leur mise en place (Gauthier-Ouellet et al., 2013). Par exemple, l'instauration d'un programme d'économie d'eau visant principalement des problèmes d'approvisionnement en eau peut indirectement favoriser l'atténuation de GES et avoir des

cobénéfices, puisqu'il y aura des économies en matière de traitement des eaux et que moins de GES provenant des usines de traitement des eaux usées seront émis.

**Tableau 1.1 Quelques exemples des actions mises en œuvre pour réduire l'empreinte carbone des villes**

(compilation d'après : ICLEI et FCM, 2018, p. 10; Équiterre et RNCREQ, 2015a, p. 2).

Secteur	Exemples d'actions
Bâtiments résidentiels, institutionnels et commerciaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déploiement des programmes d'efficacité énergétique</li> <li>• Mise en place de modes de construction favorisant l'efficacité énergétique (c.-à-d. : multirésidentiel)</li> <li>• Modification des standards pour promouvoir un design durable des bâtiments</li> </ul>
Transport	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilisation de la population au covoiturage</li> <li>• Intégration de véhicules électriques dans la flotte de véhicules municipaux</li> <li>• Promotion du transport actif (marche, vélo) et collectif (transports en commun)</li> </ul>
Gestion des déchets	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction de la quantité de matières résiduelles destinées à l'incinération</li> <li>• Collecte de matières organiques et de matières recyclables</li> <li>• Installation d'un système de capture de méthane dans les sites d'enfouissement</li> </ul>
Énergie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en place de panneaux solaires</li> <li>• Utilisation de l'énergie géothermique</li> </ul>

## 1.2 Les villes et l'adaptation

Environ 70 % des villes du monde entier ressentent déjà les effets des changements climatiques et presque toutes sont à risque (C40 Cities, 2012). Au Québec, un bon nombre de villes ont dû gérer les impacts de plusieurs événements climatiques extrêmes ayant eu cours dans les dernières années (Guilbault, 2019, 20 avril). Des inondations majeures ont touché environ 291 municipalités québécoises en 2017 et 310 en 2019 (Ministère de la Sécurité publique [MSP], s. d.; Saint-Arnaud, 2019, 24 décembre). En 2017, 180 glissements de terrain ont mis en danger des résidences, des entreprises et des infrastructures municipales partout dans la province (MSP, s. d.). En 2016, une tempête a emporté la promenade publique sur le bord de l'eau à Percé (Bourque, 2019, 4 octobre). En 2010 et en 2018, de fortes vagues de chaleur ont frappé plusieurs villes du Québec, entraînant des conséquences majeures sur la santé des populations (Lebel, Dubé et Bustinza, 2019).

D'après Ouranos, les effets des changements climatiques s'intensifieront dans les prochaines décennies au Québec. Les villes devront notamment faire face aux pluies plus fréquentes et/ou plus intenses qui

occasionneront des inondations, des surverses et des refoulements des réseaux d'égouts. Les vagues de chaleur seront aussi plus nombreuses et plus longues, favorisant la création d'îlots de chaleur urbains (Ouranos, 2015a, 2019). Les étiages estivaux seront aussi plus sévères et plus longs, affectant l'approvisionnement en eau, les écosystèmes, la faune aquatiques et diverses activités récréatives. Les événements climatiques extrêmes seront également plus fréquents et intenses et auront un impact direct sur l'intégrité et la performance des infrastructures. Toutes ces conséquences auront une incidence majeure sur les systèmes socioéconomiques et naturels à l'intérieur des villes (Ouranos, 2015a, 2019).

Aux effets des changements climatiques cités plus haut, s'ajoutent les conséquences financières qui peuvent être tout aussi néfastes que les impacts biophysiques. Les tempêtes, les inondations et autres événements météorologiques extrêmes peuvent grandement bouleverser les activités commerciales et les budgets des villes (C40 Cities, 2012). Aux États-Unis, 178 événements météorologiques extrêmes recensés depuis 1980 ont coûté plus de 1 G\$ en dommages (Équiterre et RNCREQ, 2015b). Au Québec, les inondations coûtent en moyenne 70 M\$ par année (Larrivée, Sinclair-Desgagné, Da Silva, Desjarlais et Revéret, 2015). Si les villes veulent s'adapter, elles doivent également faire des investissements. Au Québec, une étude estime qu'au cours des cinq prochaines années, les coûts liés à l'adaptation aux changements climatiques pourraient atteindre 2 G\$ pour les 10 plus grandes villes du Québec, et le double pour l'ensemble des municipalités du Québec (Agence QMI, 2019, 20 mars; Charron et al., 2019). De ce 2 G\$, 39 à 109 M\$ seraient consacrés à l'intégration d'aménagements verts à une portion du réseau routier et 57 M\$ à la plantation d'arbres (20 000/an) (Charron et al., 2019).

Diverses options s'offrent aux villes pour réduire les impacts négatifs des changements climatiques. D'abord, elles peuvent mettre en place diverses technologies et méthodes comme des infrastructures vertes, des systèmes d'avertissement et d'intervention en cas de chaleur extrême ou le surdimensionnement de certains ouvrages (Ouranos, 2019). Elles peuvent également mettre en place des politiques, des plans, des normes et des lignes directrices et réaliser des activités de sensibilisation et de transfert de connaissances pour les citoyens (Ressources naturelles Canada [RNCan], 2015). De plus, elles peuvent s'appuyer sur divers outils d'aide à la décision, comme les portraits climatiques, les synthèses de connaissances, les atlas interactifs, les analyses d'impacts et de vulnérabilités, les analyses socioéconomiques et les plans d'adaptation aux changements climatiques (Ouranos, 2019). D'ailleurs, le gouvernement fédéral (RNCan, 2015) et le gouvernement provincial (MELCC, 2020) ont mis à la disposition des villes plusieurs outils à cet effet.

### **1.2.1 Les plans d'adaptation aux changements climatiques**

Les plans d'adaptation constituent un des principaux outils de planification pour faire face aux changements climatiques. En fait, ils sont le point de départ d'une démarche de prise de décision itérative basée sur les principes de gestion des risques et de gestion adaptative (Ouranos, 2015c; Ville de Montréal, 2017). En général, la démarche à suivre pour préparer un plan d'adaptation implique au minimum cinq étapes : i) évaluer les impacts du climat actuel, ii) identifier les impacts anticipés des changements climatiques et analyser les vulnérabilités, iii) réaliser une appréciation des risques, iv) identifier et prioriser les actions pour gérer les risques reconnus et v) élaborer et mettre en œuvre le plan d'adaptation (Ouranos, 2010; Ville de Montréal, 2017).

La réalisation des trois premières étapes permet aux villes d'identifier et de prioriser les risques climatiques auxquels elles doivent faire face et les impacts qui y sont associés (Ouranos, 2010). L'ampleur et la sévérité de ces risques sont variables d'une ville à l'autre. Ces derniers dépendent en effet de l'interaction entre plusieurs facteurs comme la vulnérabilité (c.-à-d. la propension ou la prédisposition à être affecté), l'exposition (c.-à-d. la présence de personnes ou de milieux de vie dans les lieux à risque) et le danger (c.-à-d. la probabilité que des événements ou des aléas climatiques engendrent des décès, des blessures ou des dommages) (Gauthier, 2014, 5 décembre). Au Québec, les principaux risques climatiques identifiés par la plupart des villes ayant élaboré un plan d'adaptation sont associés aux pluies abondantes, plus intenses et plus fréquentes, à l'augmentation des températures moyennes (qui entraînent des sécheresses ou des vagues de chaleur) et aux phénomènes météorologiques extrêmes (tempêtes, foudre et orages, vents forts, tornades, grêle, verglas et inondations) (Enviro-accès, 2013; SNC-Lavalin, 2013; Ville de Montréal, 2017).

L'étape suivant l'identification et la priorisation des risques et des impacts est d'identifier et de prioriser des actions d'adaptation pour y faire face. En général, les plans d'adaptation présentent des mesures en fonction des événements ou des aléas climatiques identifiés. Le plan d'adaptation élaboré par la Ville de Montréal, par exemple, propose des mesures en fonction de six aléas climatiques : i) augmentation de la température, ii) pluies abondantes, iii) vagues de chaleur, iv) tempêtes destructrices, v) sécheresses et vi) crues (Ville de Montréal, 2017). D'autres plans d'adaptation, comme celui de la Ville de New York, identifient des mesures d'adaptation par quartier. D'autres présentent encore des mesures en fonction de thèmes ou de catégories (Stults et Woodruff, 2017). À ce propos, il existe diverses catégories. Lesnikowski et al. (2013) en proposent trois : i) actions soutenant la prise de conscience, ii) actions soutenant la

préparation à l'adaptation et iii) actions concrètes d'adaptation. Biagini, Bierbaum, Stults, Dobardzic et McNeeley (2014) suggèrent quant à eux 10 catégories différentes, tandis que Stults et Woodruff (2017) en identifient 17. Dans le tableau 1.2, quelques exemples d'actions d'adaptation par risque climatique sont présentés en tenant compte des catégories proposées par Stults et Woodruff (2017). Il est important de noter que les infrastructures vertes sont incluses comme étant des mesures pouvant faire face à presque tous les aléas climatiques identifiés.

### **1.3 Les barrières et les leviers à l'action climatique en milieu municipal**

Selon Moser et Ekstrom (2010), les barrières sont des obstacles qui peuvent être surmontés par le biais d'efforts concertés, d'une gestion créative et de nouvelles façons de penser et d'agir. Les manques d'information, de ressources (techniques, financières et humaines) et de leadership sont identifiés comme étant les principales barrières à l'action climatique en milieu municipal (Lyles, Berke et Overstreet, 2018). Charron et al. (2019) ont conclu que les grandes villes québécoises ne disposent pas de ressources financières suffisantes pour faire face aux changements climatiques et que les programmes de financement existants pour les soutenir sont souvent inadaptés et difficilement accessibles. L'existence de valeurs et de croyances contradictoires est aussi une autre barrière à cause de leur influence sur la prise de décision (Lyles et al., 2018; Ouranos, 2015c). La complexité et les incertitudes associées aux changements climatiques sont aussi des freins au moment de planifier et de mettre en œuvre l'adaptation (Ouranos, 2019).

Quant aux leviers, l'un des principaux touche aux aspects économiques. Ainsi, une adaptation proactive dans les villes peut être très rentable. Hughes (2015) mentionne par exemple que chaque dollar investi pour les villes américaines dans le renforcement de la résilience et la réduction de l'exposition aux risques de catastrophe (adaptation) permet d'économiser 4 \$USD, soit environ 6 \$CAD<sup>3</sup> en intervention en cas de catastrophe. Les leviers institutionnels sont aussi très importants pour soutenir l'action climatique. Il en existe trois types : i) les politiques et les programmes gouvernementaux, ii) les lois, les règlements et les normes et iii) les outils économiques et financiers (Noble et al., 2014; Ouranos, 2015c). Au Québec, par exemple, plusieurs municipalités ont développé des plans d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques grâce au programme Climat municipalités dont la première phase a été lancée par le gouvernement provincial en 2009 (MELCC, 2018).

---

<sup>3</sup> 1 dollar américain = 1,3901 dollars canadiens (taux d'échange au décembre 2015) (Exchange-rates.org, 2020).

**Tableau 1.2 Quelques exemples d'actions d'adaptation en fonction des aléas climatiques** (inspiré de : Stults et Woodruff, 2017, p. 1255).

Aléa climatique	Impact	Actions suggérées	Type d'action
Augmentation de la température	Chaleur extrême	Amélioration des systèmes d'alerte de canicules	Technologique
		Mise en place d'infrastructures vertes	Infrastructure verte
	Réduction de la qualité de l'air	Installation des stations de surveillance de la qualité de l'air	Recherche et suivi
		Expansion de la forêt urbaine et des espaces verts	Infrastructure verte
	Infrastructures endommagées	Utilisation de matériaux résistants à la chaleur	Infrastructure physique
		Établissement de codes du bâtiment plus stricts	Normes conception/construction
Étiages	Approvisionnement en eau réduit	Réduction de la consommation d'eau	Conservation d'eau
		Amélioration de l'infiltration des eaux de pluie	Infrastructures vertes
	Réduction de la qualité de l'eau	Amélioration des processus de traitement de l'eau	Comportements et pratiques
		Préservation des zones tampons riveraines	Infrastructures vertes
Pluies abondantes	Inondations	Délimitation de zones ou de quartiers non bâtis	Politique
		Amélioration du captage des eaux pluviales	Infrastructures vertes
		Appui au développement à faible impact	Aménagement du territoire
	Infrastructures endommagées	Déplacement des infrastructures vulnérables	Planification
		Installation ou restauration d'infrastructures vertes	Infrastructures vertes
	Réduction de la qualité de l'eau	Captage des eaux pluviales	Infrastructures vertes
		Préservation des zones tampons riveraines	Aménagement du territoire
Événements climatiques extrêmes	Tempêtes destructrices	Protection et restauration des écosystèmes côtiers	Infrastructures vertes
		Sensibilisation des propriétaires de maison	Formation et sensibilisation

## **2. SYNERGIES ENTRE L'ATTÉNUATION ET L'ADAPTATION**

À la lumière de la section précédente, les villes représentent des agents importants dans la mise en œuvre des mesures d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques. À cause de l'urgence climatique et du rôle qu'elles ont dans l'atteinte des objectifs de réduction de GES et d'adaptation, les villes sont de plus en plus appelées à travailler sur ces deux fronts, tout en favorisant des synergies possibles et en minimisant la maladaptation (Serkine, 2015) et la malatténuation (Grafakos, Trigg, Landauer, Chelleri et Dhakal, 2019). Présentement, l'atténuation et l'adaptation sont souvent traitées séparément dans la plupart des stratégies et des plans d'action développés pour faire face aux changements climatiques (Duguma et al., 2014; Stetter, 2016, 21 juin; Xu et al., 2019).

D'après une étude réalisée par Reckien et al. (2014) sur les plans de lutte contre les changements climatiques élaborés par 200 villes européennes, seulement 22 % correspondent à des plans mixtes atténuation-adaptation. La plupart des plans examinés visaient l'atténuation (65 %) et les plans d'adaptation (28 %) étaient souvent publiés après les plans d'atténuation ou simultanément (Reckien et al., 2014). Une étude plus récente portant sur 885 villes européennes démontre que les plans visant l'atténuation continuent d'être plus fréquents que ceux visant l'adaptation (66 % vs 26 %) (Reckien et al., 2018). Seulement 17 % des villes de l'échantillon possèdent des plans mixtes atténuation-adaptation (Reckien et al., 2018). Cette tendance est similaire au Canada (Guyadeen et al., 2019; Stevens et Senbel, 2017) et au Québec (Valois et al., 2017). En effet, grâce à l'appui financier gouvernemental, plusieurs villes québécoises ont élaboré de plans de réduction des émissions de GES, mais seules quelques grandes villes, parmi lesquelles se trouvent Montréal, Trois-Rivières, Sherbrooke et Québec, ont élaboré des plans d'adaptation (Ouranos, 2019; Valois et al., 2017).

Diverses causes sont à l'origine de cette divergence. D'abord, l'analyse des définitions d'atténuation et d'adaptation permet de constater que les deux termes visent des objectifs différents (Pasimeni et al., 2019; Stetter, 2016, 21 juin). L'atténuation implique toute intervention humaine visant à réduire les sources ou à renforcer les puits de GES. L'adaptation, quant à elle, vise plutôt à réduire ou à éviter les effets préjudiciables des changements climatiques et à en exploiter, si possible, les effets bénéfiques (GIEC, 2014). L'atténuation s'attaque donc aux causes des changements climatiques, tandis que l'adaptation cherche à en minimiser ou à en éviter les impacts (Pasimeni et al., 2019; Stetter, 2016, 21 juin).

Des différences existent également en termes d’approches et de périmètres d’application (Bertrand et Richard, 2015). L’atténuation et l’adaptation agissent aux différentes échelles temporelles et spatiales et concernent différents acteurs et niveaux de collaboration (Duguma et al., 2014; Shrestha et Dhakal, 2019). D’un côté, les actions d’atténuation sont mises en œuvre à une échelle nationale ou régionale et concernent principalement les gouvernements nationaux dans le contexte des négociations internationales (Juhola, Driscoll, Mendler de Suarez et Suarez, 2013; Zhao et al., 2018). D’un autre côté, les actions d’adaptation sont mises en œuvre à une échelle régionale ou locale. Elles touchent donc des localités particulières ainsi que leurs vulnérabilités respectives face aux impacts des changements climatiques (Juhola et al., 2013; Zhao et al., 2018). De plus, les résultats de l’atténuation s’observent à long terme, tandis que ceux de l’adaptation peuvent s’observer de façon immédiate ou à long terme (Grafakos et al., 2018; Zhao et al., 2018). Aussi, l’atténuation est quantifiable avec une mesure universelle, les tonnes d’équivalent CO<sub>2</sub> (ou CO<sub>2</sub>e) émises ou évitées, ce qui facilite le suivi et l’évaluation. De son côté, l’adaptation s’appuie sur divers indicateurs qui ne peuvent pas se condenser en un indice universel (Stetter, 2016, 21 juin), ce qui complexifie le suivi et l’évaluation des résultats et des retombées. D’autres différences sont illustrées au tableau 2.1.

**Tableau 2.1 Différences entre l’atténuation et l’adaptation** (inspiré de : Bertrand et Richard, 2015, p. 7).

	Atténuation	Adaptation
Niveau de gouvernance	International, national	Régional, local
Échelle des effets de l’action	Globale	Locale à régionale
Délais des retombées	Plusieurs décennies	Immédiat à plusieurs décennies
Efficacité de l’action	Certaine	Il faut gérer des incertitudes
Présence de cobénéfices	Parfois	Souvent
Bénéfices locaux	Faibles	Presque en intégralité
Suivi	Relativement facile	Plus complexe

Aux différences présentées ci-dessus s’ajoute le fait qu’au cours de la première décennie de la mise en œuvre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), les efforts d’atténuation étaient considérés comme suffisants pour faire face aux changements climatiques et s’avéraient impératifs. L’adaptation, quant à elle, n’était pas une priorité et semblait plus éloignée dans le temps (Duguma et al., 2014; Grafakos et al., 2018; Stetter, 2016, 21 juin). C’est depuis les années 2000 que l’adaptation a été jugée aussi nécessaire que l’atténuation du fait que les impacts attendus des



changements climatiques sont apparus comme inévitables et indéniables (Lyles et al., 2018; Zhao et al., 2018). Actuellement, l'Accord de Paris encourage une allocation équilibrée des fonds pour les actions d'atténuation et d'adaptation. Les deux stratégies sont considérées complémentaires et nécessaires pour faire face aux changements climatiques (Göpfert, Wamsler et Lang, 2019; Shrestha et Dhakal, 2019).

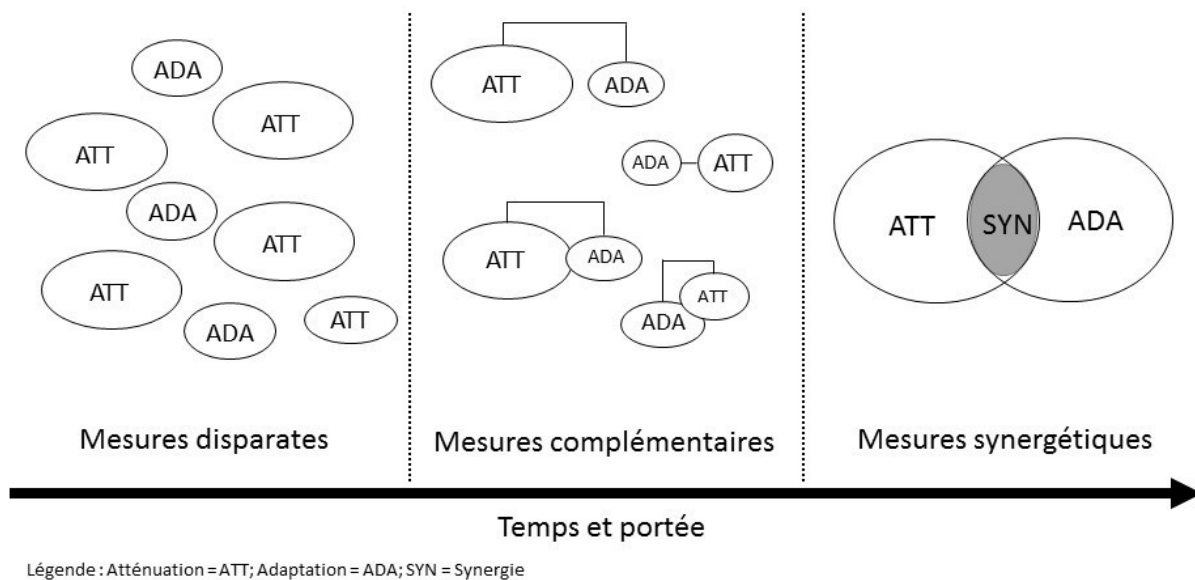
## **2.1 Synergies, cobénéfices, compromis et antagonismes**

D'après une revue de la littérature réalisée par Landauer, Juhola et Söderholm (2015), il existe trois types d'interrelations possibles entre l'atténuation et l'adaptation : positives, négatives et neutres. Les interrelations positives sont associées à la création des synergies ou des cobénéfices (Landauer et al., 2015). Une synergie se produit lorsque « l'interaction entre l'atténuation et l'adaptation génère un effet combiné supérieur à la somme des effets obtenus si elles avaient été mises en place séparément » (Klein et al., 2007, p. 749; Landauer et al., 2015, p. 508; Landauer, Juhola et Klein, 2019, p. 742). Un cobénéfice, en contrepartie, se produit quand une action d'atténuation a un impact positif inattendu sur l'adaptation, ou inversement quand une action d'adaptation a un impact positif inattendu sur l'atténuation. Un exemple d'une mesure d'adaptation ayant un impact positif sur l'atténuation des changements climatiques est le boisement de pentes de collines dégradées qui permet de contrôler l'érosion des sols et qui soutient également la séquestration du carbone par l'entremise de la photosynthèse (Klein et al., 2007).

Dans la littérature, les termes « synergies » et « cobénéfices » sont souvent utilisés comme des synonymes (Landauer et al., 2015). Toutefois, en tenant compte des définitions présentées ci-dessus, il est clair que leurs objectifs sont différents. En fait, les cobénéfices se présentent plutôt quand les actions mises en œuvre visent soit l'atténuation soit l'adaptation et que l'un des deux, selon le cas, devient un cobénéfice (Duguma et al., 2014). Au contraire, les synergies se produisent quand les actions implémentées priorisent l'atténuation et l'adaptation simultanément et que leur mise en œuvre se fait d'une façon intégrée sans occasionner d'effets négatifs, ni sur l'un ni sur l'autre (Landauer et al., 2015).

Selon Duguma et al. (2014), l'existence de cobénéfices est la première étape pour créer des synergies, comme le montre la figure 2.1. En ce sens, l'action de planter des arbres pour réduire les îlots de chaleur urbains est souvent considérée comme un exemple de synergie atténuation-adaptation, mais peut aussi être un exemple de cobénéfice pouvant devenir une synergie si le temps et les ressources consacrés à sa mise en place génèrent des économies et qu'aucun effet négatif ne se produit, ni pour l'adaptation ni pour

l'atténuation (Landauer et al., 2019). L'occurrence d'un cobénéfice ou d'une synergie dépend donc du contexte et du temps (Shrestha et Dhakal, 2019).



**Figure 2.1 Schéma montrant les différences entre complémentarité (cobénéfices) et synergie** (inspiré de : Duguma et al., 2014, p. 425).

Des synergies possibles entre l'atténuation et l'adaptation ont été identifiées dans divers secteurs tels que l'agriculture, la foresterie et autres utilisations des terres (AFOLU) (Morita et Matsumoto, 2018), le secteur de l'énergie (Clavet-Gaumont et Huard, 2016; Hennessey et al., 2017), des bâtiments (Grafakos et al., 2018), des finances (Locatelli, Fedele, Fayolle et Baglee, 2016) et de l'aménagement du territoire (Di Gregorio et al., 2017) (tableau 2.2). Les synergies entre l'atténuation et l'adaptation sont aussi possibles entre différents secteurs et à différentes échelles, soit nationale (Pasimeni et al., 2019; Shrestha et Dhakal, 2019), régionale/provinciale (Shaw et al., 2014) et locale/urbaine (Reckien et al., 2018).

Les interrelations neutres entre l'atténuation et l'adaptation sont associées aux « compromis », c'est-à-dire à la recherche d'un équilibre entre l'atténuation et l'adaptation lorsqu'il est impossible de les implémenter simultanément en raison, entre autres, de contraintes financières, d'échelles spatiales différentes, de délais différents (Klein et al., 2007). Donc, l'implantation de l'une devrait annuler l'autre. Dans certains cas, les « compromis » sont aussi considérés comme des « conflits » et ont donc une connotation négative (Landauer et al., 2015). Ceci arrive lorsque la mise en œuvre d'une mesure

d'atténuation a des effets négatifs sur l'adaptation et vice-versa. Zhao et al. (2018) identifient deux types des compromis : le compromis d'atténuation et le compromis d'adaptation. Le premier se présente lorsqu'une mesure d'atténuation visant la réduction des émissions de GES rend un système plus vulnérable, tandis que le deuxième se produit lorsqu'une mesure visant la réduction de la vulnérabilité augmente les émissions de GES (Zhao et al., 2018).

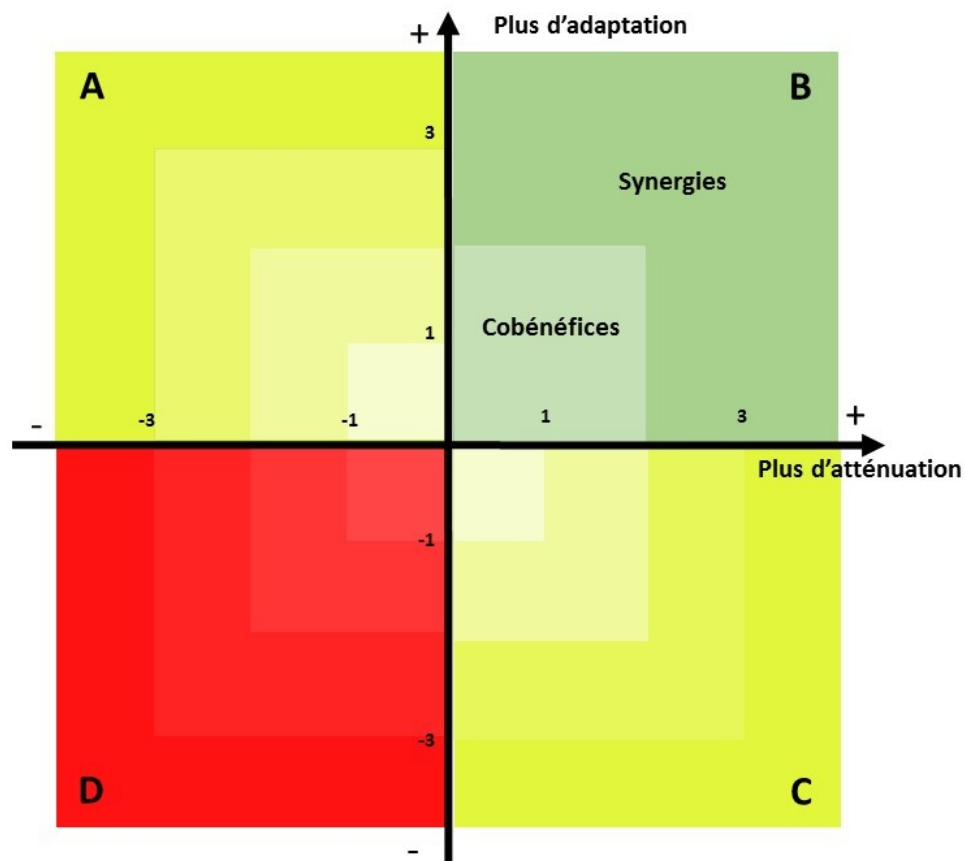
**Tableau 2.2 Quelques exemples de synergies identifiées dans divers secteurs** (compilation d'après : Locatelli, Pavageau, Pramova et Di Gregorio, 2015, p. 588; Locatelli et al., 2016, p. 124; McAllister, 2011, p. 2136; Morita et Matsumoto, 2018, p. 1).

Secteur	Exemple de synergie
Agriculture	Les pratiques agricoles de conservation réduisent les émissions de GES provenant des sols ou des engrais ainsi que la vulnérabilité des cultures à la variabilité climatique.
Foresterie	La conservation et la protection de forêts favorisent l'atténuation (séquestration de carbone) et l'adaptation (augmentation de la résilience des forêts) tout en réduisant les coûts liés à l'atténuation et l'adaptation.
Énergie	Un système d'électricité décentralisé est une approche qui soutient l'atténuation et qui réduit la vulnérabilité du secteur aux événements climatiques extrêmes.
Finance	Les institutions qui financent des projets d'atténuation et d'adaptation adoptent un mandat holistique qui aide à exploiter les synergies et à minimiser les compromis entre projets.

Comme indiqué précédemment, les « compromis » peuvent aussi générer des « conflits » entre l'atténuation et l'adaptation (Landauer et al., 2015). Selon le dictionnaire *USITO*, un conflit est un antagonisme, une forte opposition, un vif désaccord (Cajolet-Laganière, Martel et Masson, 2020). Zhao et al. (2018) proposent le terme « synergies négatives » pour faire référence aux « conflits » et ils indiquent que celles-ci arrivent quand une action génère en même temps l'augmentation des émissions de GES et l'augmentation de la vulnérabilité. La déforestation en est un exemple.

Compte tenu de ce qui précède, les différentes relations entre les termes « synergie », « compromis » et « antagonisme » sont schématisées à la figure 2.2. Les interrelations positives entre l'atténuation et l'adaptation, c'est-à-dire les cobénéfices et les synergies, se placent au quadrant B. Zhao et al. (2018) décrivent une synergie comme un effet  $1 + 1 > 2$ . Autrement dit, une synergie atténuation-adaptation génère un effet combiné supérieur à la somme des effets si celles-ci-avaient été mises en place séparément. Pour cette raison, à la figure 2.2, l'espace occupé par les cobénéfices forme un carré limité

par le chiffre 2 dans les deux axes. Des exemples de synergies potentielles atténuation-adaptation qui pourraient être placées dans le quadrant B incluent le boisement de pentes de collines dégradées, mentionné précédemment, ainsi que les infrastructures qui favorisent le transport public et multimodal, tant que celles-ci sont construites le long de corridors verts (Grafakos et al., 2018; Pasimeni et al., 2019). Un exemple de cobénéfice qui pourrait être placé dans le quadrant B est l'application des principes d'économie d'eau puisqu'elle réduit la consommation d'énergie pour le traitement et l'extraction d'eau (Grafakos et al., 2018).



#### Légende des quadrants

**A** : Compromis d'adaptation (augmentation des émissions de GES)

**B** : Cobénéfices et synergies

**C** : Compromis d'atténuation (génération des nouvelles vulnérabilités)

**D** : Antagonismes ou synergies négatives

**Figure 2.2 Synergies, cobénéfices, compromis et antagonismes** (inspiré de : Zhao et al., 2018, p. 89).

Les quadrants A et C correspondent tous les deux à des compromis. Dans le quadrant A se trouvent toutes les actions d'adaptation qui visent la réduction de la vulnérabilité et/ou l'augmentation de la résilience, mais qui augmentent les émissions de GES. Barnett et O'Neill (2010) classent ces actions comme un type de maladaptation. En voici des exemples :

- Mise en place d'une politique municipale encourageant l'utilisation des systèmes de climatisation pour réduire l'exposition à la chaleur extrême qui entraîne une augmentation des émissions de GES (Solecki et al., 2015).
- Utilisation des systèmes de dessalement d'eau pour lutter contre la pénurie d'eau impliquant une forte consommation d'énergie et une production des émissions de GES (Grafakos et al., 2018).
- Construction d'un mur de soutènement pour éviter l'avancée de la mer et l'érosion côtière qui entraîne l'utilisation de matériaux (ciment, fer) ayant une forte empreinte carbone (Zhao et al., 2018).

Dans le quadrant C sont placées toutes les actions qui visent à réduire les émissions de GES, mais qui augmentent les vulnérabilités aux changements climatiques. En d'autres mots, ce sont des actions qui favorisent la malatténuation. Le boisement et le reboisement, par exemple, sont considérés comme des stratégies favorisant l'atténuation. Toutefois, si leur mise en place implique la plantation d'espèces exotiques à croissance rapide pour atteindre des résultats dans un court délai, ça pourrait entraîner une réduction de la vulnérabilité causée par les effets négatifs des essences exotiques sur la biodiversité (Klein et al., 2007). Les politiques pour favoriser la densification urbaine (structure compacte d'une ville) afin de réduire la consommation d'énergie, sont un autre exemple, car elles limitent grandement l'espace nécessaire pour la mise en place d'espaces verts qui sont très avantageux pour l'adaptation (Grafakos et al., 2018). Finalement, dans le quadrant D sont placées toutes les actions générant des « conflits » ou des « antagonismes » entre l'atténuation et l'adaptation. Comme mentionné précédemment, la déforestation en est un exemple.

À cause de l'urgence climatique, il est impératif d'identifier et d'encourager des synergies entre l'atténuation et l'adaptation et d'éviter le plus possible les situations d'antagonisme. Les synergies créent des situations gagnant-gagnant à différentes échelles (Landauer et al., 2019), entre différents secteurs (Grafakos et al., 2019) ou à l'intérieur d'un même secteur (Grafakos et al., 2018; Laurikka, 2013; Shrestha et Dhakal, 2019). Par contre, les stratégies d'atténuation ou d'adaptation unilatérales peuvent avoir des

conséquences contradictoires et augmenter les stress climatiques ou les émissions de GES (Xu et al., 2019). L'identification de synergies peut réduire les coûts de mise en œuvre et équilibrer les efforts d'atténuation et d'adaptation, surtout quand les ressources sont limitées, ce qui est le cas pour divers secteurs, régions, villes et pays (Zhao et al., 2018). Toutefois, il faut aussi tenir compte du fait que dans certains cas, il n'est pas possible de développer des synergies à cause des « conditions inappropriées, des biais, de la concurrence entre les moyens de mise en œuvre ou des différences fondamentales entre adaptation et atténuation » (Shrestha et Dhakal, 2019, p. 236). Dans de telles circonstances, divers auteurs suggèrent d'envisager des compromis et de minimiser les conflits le plus possible (Grafakos et al., 2018; Shrestha et Dhakal, 2019).

## **2.2 Synergies entre l'atténuation et l'adaptation en milieu urbain**

Selon Grafakos et al. (2018), les synergies atténuation-adaptation en milieu urbain ont le potentiel de se produire principalement dans trois secteurs : bâtiment, énergie et aménagement du territoire. En ce qui concerne le premier secteur, les mesures d'atténuation visent principalement l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments et l'utilisation de sources d'énergie alternatives, tandis que les mesures d'adaptation ciblent notamment les impacts sur les infrastructures qui sont causés par la hausse des températures, la modification du régime de précipitations et la fréquence accrue d'événements extrêmes (Ouranos, 2015b). Des mesures synergiques sont donc possibles quand un ou plusieurs de ces enjeux sont touchés en même temps. Ainsi, la conception passive des bâtiments (orientation, hauteur et espacement) permet simultanément d'augmenter leur efficacité énergétique, de réduire les émissions de GES et d'améliorer le climat intérieur et le confort des bâtiments lors d'événements climatiques extrêmes comme les vagues de chaleur (Grafakos et al., 2018). L'orientation et la morphologie des bâtiments et des rues offrent aussi des opportunités pour intégrer et créer des synergies entre l'atténuation et l'adaptation (Grafakos et al., 2018).

Dans le secteur de l'énergie, les synergies entre l'atténuation et l'adaptation sont possibles, notamment lorsque « la génération d'énergie renouvelable est décentralisée et connectée par un réseau électrique intelligent » (Grafakos et al., 2018, p. 110). En agissant ainsi, le risque de pannes électriques en raison d'événements climatiques extrêmes (températures extrêmes ou tempêtes) est réduit ainsi que les émissions de GES (Grafakos et al., 2018). Pour les mêmes raisons, l'utilisation d'énergie solaire et éolienne a aussi un potentiel de création de synergies atténuation-adaptation.

Le secteur de l'aménagement du territoire est peut-être celui avec le plus grand potentiel de création de synergies atténuation-adaptation, car l'utilisation des terres en milieu urbain affecte non seulement les émissions de GES, mais aussi les risques d'événements climatiques intenses (Xu et al., 2019). Les pratiques de verdissement urbain plus précisément ont la capacité d'absorber et de stocker l'eau, de refroidir les zones environnantes et d'améliorer la biodiversité tout en séquestrant du carbone (Grafakos et al., 2018). En d'autres mots, elles offrent des solutions pour gérer les inondations et le ruissellement des eaux de pluie et le stress thermique ainsi que pour réduire les émissions de GES. Prenons pour exemple la mise en place de murs végétalisés ou de toits verts, lesquels augmentent l'efficacité énergétique des bâtiments et réduisent le ruissellement des eaux de pluie (Grafakos et al., 2018). Ces pratiques seront explorées plus amplement dans la section 3.

### **2.3 Avantages et défis dans la création de synergies atténuation-adaptation en milieu urbain**

La création de synergies atténuation-adaptation en milieu urbain permet d'abord une meilleure utilisation et une meilleure gestion des ressources (humaines, financières, etc.), ce qui peut être très rentable pour les villes, surtout quand les ressources sont limitées (Grafakos et al., 2018; Zhao et al., 2018). Le fait de mettre en place des mesures synergiques peut également aider à identifier et même à éviter des actions menant à la maladaptation ou à la malatténuation (Grafakos et al., 2018, 2019).

En ce qui concerne les défis, ils sont surtout associés aux caractéristiques environnementales, physiques et socioéconomiques de chaque ville ainsi qu'aux systèmes de gouvernance (Grafakos et al., 2018). Les interactions nécessaires entre différents acteurs, secteurs et échelles dans la prise de décision peuvent complexifier la planification et la mise en œuvre de solutions intégrées atténuation-adaptation (Grafakos et al., 2019). De plus, Landauer et al. (2015, 2019) mentionnent que le fait d'avoir des perceptions et des priorités politiques différentes en termes d'adaptation et d'atténuation, des processus administratifs complexes et/ou des ressources limitées sont souvent à l'origine de conflits pour la mise en œuvre intégrée de l'atténuation et de l'adaptation. Des instruments de mesure et de planification, des ressources financières, le partage d'information de qualité et l'existence d'un leadership politique fort sont autant de leviers qui peuvent aider les villes à surmonter les défis et à tirer profit des opportunités (Grafakos et al., 2018).

### 3. LES INFRASTRUCTURES VERTES

Il n'existe pas une définition unique du terme « infrastructures vertes » comme en témoignent les diverses définitions compilées dans le tableau 3.1. En fait, le terme « infrastructure verte » est relativement récent et ses multiples définitions ont grandement évolué au cours des dernières années (Grădinaru et Hersperger, 2019; Rayfield et al., 2015). Du fait que l'approche basée sur les infrastructures vertes s'appuie sur l'utilisation des processus propres aux écosystèmes naturels, ces dernières sont considérées parmi les « solutions fondées sur la nature ». Ceci est un terme générique récemment adopté qui regroupe les actions qui s'appuient sur des processus naturels afin de faire face à divers défis comme les changements climatiques, la sécurité alimentaire et la gestion des risques naturels (Dorst, van der Jagt, Raven et Runhaar, 2019). Parfois les deux termes sont utilisés de façon interchangeable, surtout dans des contextes urbains (Dorst et al., 2019), mais dans les fait, le terme « solutions fondées sur la nature » englobe le terme « infrastructures vertes ». En outre, de plus en plus, le terme « infrastructure naturelle » est utilisé comme un synonyme à « infrastructure verte » (Simard, L'Ecouyer-Sauvageau, Bissonnette et Dupras, 2018) bien que certains auteurs considèrent que ces deux concepts sont différents (ICF, 2018).

**Tableau 3.1 Définitions des infrastructures vertes**

Définition	Source
« Réseau constitué de zones naturelles, semi-naturelles et d'espaces verts qui offre de nombreux services écosystémiques, fondement du bien-être humain et de la qualité de vie. »	Agence européenne pour l'environnement [AEE] (2015, p. 5)
« Association par connexion de plusieurs types de phytotechnologies et pratiques de verdissement du territoire. »	Québec Vert (s. d.)
« Les infrastructures vertes représentent l'ensemble des systèmes naturels et semi-naturels, de l'arbre à la trame verte, qui rendent des services essentiels au bien-être des individus et des communautés. »	Rayfield et al. (2015, p. 5)
« Le terme infrastructure verte est un terme générique pour désigner un réseau stratégiquement planifié et géré d'espaces verts, d'aires protégées, de terres en exploitation et d'étendues d'eau capables d'offrir un large éventail d'avantages pour les humains et les écosystèmes. »	Traduction libre de Grădinaru et Hersperger (2019, p. 17)
« L'infrastructure verte est une structure spatiale planifiée ou gérée et un réseau d'éléments environnementaux interconnectés, d'espaces naturels, d'espaces ouverts et de paysages. »	Traduction libre de Kim et Song (2019, p. 1)



Les définitions présentées dans le tableau ci-dessus démontrent que les infrastructures vertes ont des attributs distinctifs. Le premier est la connectivité ou le fait que les infrastructures vertes relient divers éléments naturels (p. ex. : forêts urbaines, milieux humides, etc.) ou bâtis (p. ex. : parcs urbains, toits verts, structures verticales vertes, trottoirs perméables, etc.) (Commission européenne, 2014; Lapierre et Pellerin, 2018). Par cette connectivité, les différents éléments formant une infrastructure verte agissent comme un tout et sont capables d'offrir plusieurs processus écologiques qui sont à la base des services écosystémiques (Grădinaru et Hersperger, 2019).

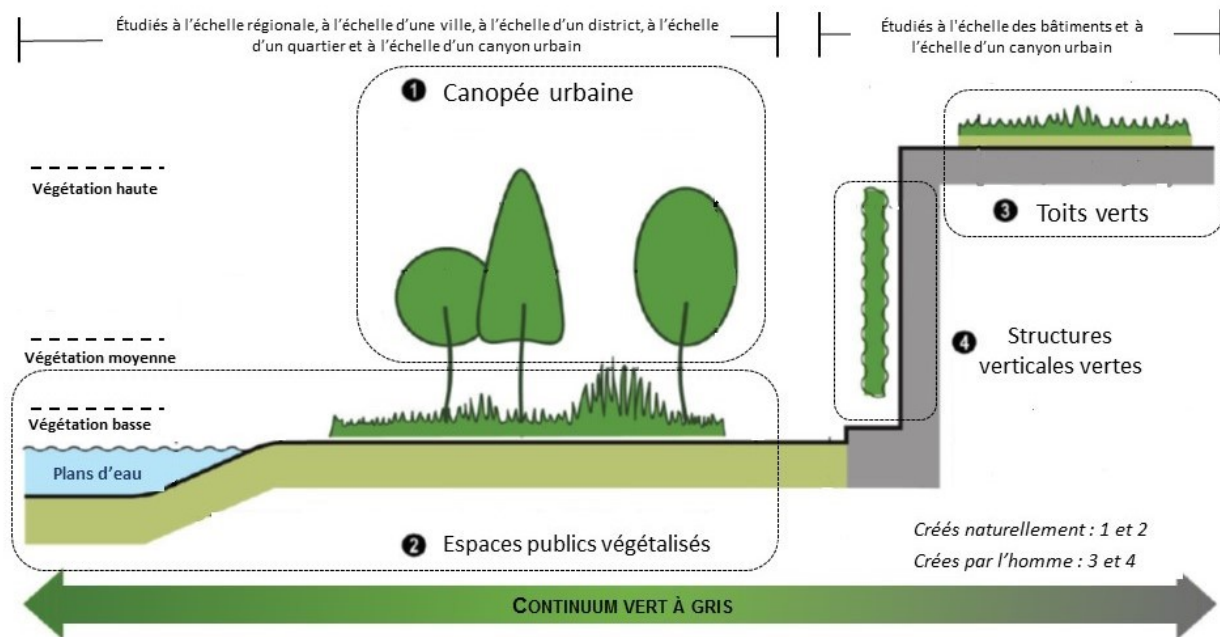
Le deuxième attribut est la multifonctionnalité, c'est-à-dire la capacité à fournir de multiples services écosystémiques clés pour le bien-être humain (Kim et Song, 2019). Ces services incluent l'assainissement de l'air, la captation des GES, la rétention des eaux pluviales, l'épuration des eaux contaminées, la décontamination des sols, le contrôle de l'érosion, la réduction des îlots de chaleur urbains, la maîtrise des plantes envahissantes, la diminution des dommages causés par le vent et le soutien à la biodiversité (Lapierre et Pellerin, 2018). Les infrastructures rendent également des services socioculturels qui peuvent aider les villes dans leurs efforts de création d'emploi, de diversification de l'économie locale, d'amélioration de la santé publique, de développement des activités récréatives et de renforcement de la cohésion sociale (Pauleit et al., 2019).

Un troisième attribut des infrastructures vertes est leur capacité à soutenir des efforts à différentes échelles spatiales. En effet, la planification et la mise en œuvre des infrastructures vertes peuvent être adaptées à diverses échelles spatiales, soit locale, régionale ou paysagère. Aux échelles locale et régionale qui correspondent davantage à celles des municipalités, il est possible de mettre en place les infrastructures vertes suivantes : toits verts, murs végétaux, systèmes végétalisés de gestion des eaux pluviales, parcs nature, parcs urbains, terrains sportifs, forêts urbaines, ruelles vertes, barrières sonores vivantes, haies brise-vent, bandes riveraines, corridors verts et bleus et agriculture urbaine (Québec Vert, s. d.).

### **3.1 Classification**

Bartesaghi Koc, Osmond et Peters (2017) proposent quatre grandes catégories d'infrastructures vertes : i) canopée urbaine, ii) espaces publics végétalisés, iii) structures verticales vertes et iv) toits verts. Tel qu'illustré à la figure 3.1, les quatre catégories ont des différences en ce qui a trait à la structure de la végétation, à leur localisation spatiale et à l'échelle à laquelle elles sont étudiées. À ces catégories, il est

également possible d'ajouter toutes les phytotechnologies qui soutiennent la gestion des eaux pluviales et des eaux usées ainsi que les infrastructures vertes associées aux aménagements piétonniers et cyclables : par exemple, les trottoirs perméables ou les ruelles vertes (Lapierre et Pellerin, 2018; Simard et al., 2018).



**Figure 3.1 Types des infrastructures vertes en fonction du continuum vert à gris** (inspiré de : Bartesaghi Koc et al., 2017, p. 31).

### 3.1.1 Canopée urbaine

La canopée urbaine est « l'étendue du couvert végétal formé par les arbres sur un territoire » (Ville de Montréal, s. d.b) incluant les ruelles vertes, les arbres et les arbustes de rue ainsi que la forêt urbaine (Simard et al., 2018). En 2015, la canopée de la région du Grand Montréal représentait 26 % de la superficie terrestre de la région (Communauté métropolitaine de Montréal [CMM], 2018). Le Plan métropolitain d'aménagement et de développement (PMAD) de la CMM vise l'objectif de 30 % de couvert forestier d'ici 2031. À l'échelle de la ville de Montréal, l'objectif est d'augmenter la canopée urbaine de 20 à 25 % d'ici 2025 (Ville de Montréal, s. d.a).

### **3.1.2 Espaces publics végétalisés**

Les espaces publics végétalisés sont des espaces ouverts incluant au moins 50 % de surfaces perméables (García Sánchez, Solecki et Ribalaygua Batalla, 2018). Ils comprennent principalement les ceintures vertes, les corridors verts, les espaces verts, les espaces urbains/publics ouverts, les parcs urbains, les structures végétales urbaines, le couvert de sol végétalisé, les bacs publics de végétation et les espaces protégés (Simard et al., 2018). D'après Lapierre et Pellerin (2018), la superficie des parcs et des espaces verts de l'agglomération de Montréal est d'environ 3 536 hectares (6 % du territoire) comprenant 1 559 parcs et espaces verts municipaux. « Pour la ville de Montréal, la superficie totale de ces infrastructures est de 2 823 hectares, soit 8 % du territoire » (Lapierre et Pellerin, 2018, p. 17). En ce qui concerne les corridors verts, il existe en ce moment diverses initiatives au Québec. Notamment le projet Corridors verts de la Société de verdissement du Montréal métropolitain (Soverdi) dans la ville de Montréal (Soverdi, 2018) et le projet Corridors écologiques : une stratégie d'adaptation aux changements climatiques mené par Conservation de la nature Canada (CNC). Ce dernier se penche sur cinq secteurs prioritaires au Québec : i) ceinture verte de Montréal, ii) Estrie et Montérégie, iii) Témiscouata, Trois-Frontières et Gaspésie, iv) Centre-du-Québec et Chaudière-Appalaches et v) Laurentides et Outaouais (Monticone, 2018).

### **3.1.3 Toits verts**

Les toits verts, aussi connus sous les noms d'écotoits, de toits végétalisés, de toits pluviaux et de jardins de toit sont des infrastructures pérennes ayant principalement trois composantes : une couche de végétation, une couche de milieu de culture légère et une couche de stockage ou de drainage placée au-dessus d'une membrane imperméable (Li et al., 2019). Il en existe deux types principaux : extensif ou intensif. La plus grande différence entre les deux types est l'épaisseur du substrat de croissance (Li et al., 2019). Ainsi, le premier a un substrat de 15 centimètres d'épaisseur ou moins, tandis que le deuxième est constitué d'un substrat de plus de 15 centimètres d'épaisseur (Li et al., 2019).

Les deux types possèdent des avantages et des inconvénients. La décision de mettre l'un ou l'autre en place dépend notamment de la condition et de la structure du toit, du budget et du but de sa construction (Cosgrove et Spino, 2017). Ainsi, un toit vert extensif est peu dispendieux et léger, mais il ne peut pas être utilisé comme endroit récréatif. Le toit intensif, quant à lui, permet la tenue de loisirs récréatifs, mais a des coûts plus élevés et un poids plus important (Cosgrove et Spino, 2017). En 2018, Lapierre et Pellerin ont recensé 228 toits verts dans l'agglomération de Montréal, Ville-Marie étant l'arrondissement avec le

plus grand nombre de ces infrastructures (54). La superficie moyenne des toits verts identifiés était de 610 m<sup>2</sup> et plus de la moitié (54 %) étaient de type extensif (Lapierre et Pellerin, 2018). Les toits verts de l'Hôtel Bonaventure, de la Maison du développement durable (MDD) et du Palais de congrès de Montréal en sont des exemples (Caillou, 2017, 22 juillet).

#### **3.1.4 Structures verticales vertes**

Le terme « structure verticale verte » englobe diverses phytotechnologies qui peuvent s'installer sur les murs extérieurs ou intérieurs des bâtiments de façon permanente (Zaid, Perisamy, Hussein, Myeda et Zainon, 2018). La terminologie des structures verticales vertes inclut les biomurs, les façades vertes, les murs verts, les murs vivants, les murs végétalisés extérieurs ou intérieurs et la végétation verticale (Simard et al., 2018). À Montréal, 140 structures verticales végétalisées ont été identifiées par Lapierre et Pellerin en 2018. La plupart de ces infrastructures sont de murs végétaux extérieurs et ils ont été installés principalement pour combattre les îlots de chaleur urbains (Lapierre et Pellerin, 2018). Le mur végétal à l'intérieur de la MDD à Montréal en est un exemple (MDD, s. d.).

#### **3.1.5 Infrastructures vertes de gestion des eaux pluviales**

Les infrastructures vertes utilisées pour la gestion des eaux pluviales sont principalement les marais filtrants, les jardins pluviaux, les cellules de biorétention, les égouts séparateurs, les égouts pluviaux, les bassins de rétention, les bandes filtrantes, la chaussée perméable, les trottoirs perméables et les milieux humides (Simard et al., 2018). Ces infrastructures visent principalement à réduire le volume et le débit des eaux usées, à améliorer la qualité de l'eau et à réduire le ruissellement des eaux pluviales par le biais de l'interception, de la captation, du stockage, du traitement, de l'infiltration ou de l'évapotranspiration (Li et al., 2019). Lapierre et Pellerin (2018) ont recensé 65 infrastructures vertes de gestion des eaux pluviales sur le territoire de l'agglomération de Montréal : 41 bassins de rétention, 7 cellules de biorétention, 4 bandes filtrantes, 10 marais filtrants et 3 noues végétalisées.

#### **3.1.6 Infrastructures vertes associées aux aménagements piétonniers et cyclables**

Ces infrastructures incluent des chaussées perméables, des trottoirs perméables, des saillies de trottoirs végétalisés, des trottoirs surélevés et des terre-pleins centraux végétalisés (Simard et al., 2018). Dans le cadre de l'initiative Trame verte et bleue de la CMM, divers projets favorisant ces infrastructures ont été

développés, incluant des sentiers cyclables et pédestres, des projets de plages et de parcs riverains (CMM, 2019).

### **3.2 Les infrastructures vertes et la lutte contre les changements climatiques**

L'Accord de Paris reconnaît le rôle clé de la nature et des solutions fondées sur la nature pour faire face aux conséquences du dérèglement climatique (Union pour la conservation de la nature France [UICN France], 2018). Grâce à leur multifonctionnalité, les solutions fondées sur la nature, dont les infrastructures vertes font partie, peuvent contribuer à la réduction des GES et à l'adaptation tout en promouvant le bien-être humain et le développement durable (Dige, Kleeschulte, Philipsen, Schindler et Sonderegger, 2015). À l'échelle urbaine, les infrastructures vertes offrent principalement des solutions pour réduire les effets des pluies intenses et des inondations, des vagues de chaleur et des îlots de chaleur urbains et pour augmenter la résilience des écosystèmes urbains et des populations face aux changements climatiques, pour séquestrer et stocker du carbone ainsi que pour réduire la consommation d'énergie.

#### **3.2.1 Réduction des effets des pluies intenses et des inondations**

Avec les changements climatiques, les précipitations seront plus intenses et/ou plus fréquentes. Ainsi, pour le sud du Québec, les précipitations annuelles devraient augmenter de 3 % à 14 % d'ici 2050 et l'intensité des épisodes de pluies abondantes devrait augmenter de 10 % à 25 % d'ici 2100 (Ouranos, 2015a; Ville de Montréal, 2017). Pour les milieux urbanisés, qui sont dans la plupart des cas des zones imperméables, des pluies plus intenses et abondantes impliquent des quantités excessives de ruissellement des eaux pluviales qui peuvent éroder les sols, les terrains et les rives des cours d'eau, causer des inondations localisées et des débordements d'égouts et accroître les maladies à transmission vectorielle (ICF, 2018).

Les toits verts, les bassins de biorétention, les jardins de pluie et les arbres urbains ont la capacité de réduire les impacts associés aux pluies abondantes et de favoriser l'adaptation (ICF, 2018; Mei et al., 2018). Les toits verts, par exemple, peuvent retenir entre 55 % et 88 % de l'eau de pluie grâce à leurs multiples couches de substrat, améliorant par le fait même la qualité de l'eau puisque les polluants, par exemple les métaux lourds de l'eau de pluie, sont absorbés dans les substrats (Shafique, Kim et Rafiq, 2018). De leur côté, les bassins de biorétention absorbent l'eau pendant une période allant de 24 à 48 heures et facilitent

son retour dans le sol et les couches aquifères par filtration lente en retirant des polluants grâce à la végétation (ICF, 2018). Les jardins de pluie agissent de façon similaire.

Les arbres urbains, quant à eux, filtrent l'eau de façon naturelle. Pendant les épisodes de pluies intenses, leurs racines, leurs feuilles et leurs branches interceptent l'eau, ralentissant ainsi le ruissellement des eaux de pluie (ICF, 2018). Gill, Handley, Ennos et Pauleit (2007) ont constaté que lors de précipitations d'en moyenne 28 millimètres, la couverture végétale en milieu urbanisé diminue le ruissellement de 5 % et que la couverture des arbres le fait dans une proportion de 6 %. Grâce à leur capacité à réduire le ruissellement, les arbres contribuent simultanément à limiter l'érosion et à stabiliser le sol (ICF, 2018). Selon une étude réalisée par Liu, Chen et Peng (2014), lorsque divers types d'infrastructures vertes agissent de façon intégrée, le ruissellement d'eaux de pluie peut être réduit de 85 %. Pour la ville de Québec, la réduction des eaux de ruissellement par la canopée urbaine a été estimée en 0,95 million de mètres cubes par an, ce qui a permis des économies d'environ 390 000 \$ en coûts d'entretien des infrastructures et de traitement de l'eau (Wood et al., 2018).

### **3.2.2 Réduction des effets des vagues de chaleur et des îlots de chaleur urbains**

À l'échelle globale, le nombre de nuits et de jours chauds a augmenté de manière significative depuis les années 1950 (Ville de Montréal, 2017). Dans les prochaines décennies, globalement, les vagues de chaleur extrême s'intensifieront en longueur et en fréquence partout dans le monde et le Québec ne fera pas exception (Ouranos, 2019; Ville de Montréal, 2017). En milieu urbain, les surfaces minérales et foncées, la perte progressive de couvert végétal, l'orientation et l'espacement des bâtiments et la chaleur anthropique accentuent ces épisodes et favorisent la création d'îlots de chaleur urbains (Giguère, 2010; Sussams, Sheate et Eales, 2015).

Les vagues de chaleur et les îlots de chaleur urbains ont des conséquences importantes, notamment sur l'environnement naturel et sur la santé des populations. D'abord, les îlots de chaleur urbains contribuent à la formation du smog, détériorant ainsi la qualité de l'air extérieur (Giguère, 2010). La demande en eau potable et en énergie augmente également, soit pour se rafraîchir ou pour assurer un confort thermique par l'utilisation de climatiseurs (Giguère, 2010). Dans les milieux aquatiques, il y a une hausse de la prolifération des cyanobactéries, ce qui entraîne une détérioration de la qualité de l'eau (Ville de Montréal, 2017). En ce qui concerne la santé des populations lors de périodes de chaleur accablante, les gens peuvent faire face à divers inconforts associés au stress thermique, soit de la transpiration excessive, des crampes

ou des maux de tête (Ville de Montréal, 2017). Ces inconforts affectent la qualité de vie des citoyens, provoquent des arrêts de travail forcés et aggravent les symptômes associés à d'autres maladies (Ville de Montréal, 2017). De plus, les périodes de chaleur accablante sont souvent associées à des taux de mortalité et de morbidité particulièrement élevés dans les villes (Norton et al., 2015).

L'importance des infrastructures vertes dans la lutte contre la chaleur extrême et les îlots de chaleur urbains a été soulignée par plusieurs auteurs (Norton et al., 2015; Razzaghmanesh, Beecham et Salemi, 2016; Sussams et al., 2015; Zölch, Maderspacher, Wamsler et Pauleit, 2016). Ainsi, une étude menée en Australie a démontré qu'une augmentation de 10 % de la couverture végétalisée peut réduire de 1 °C la température urbaine de surface au cours de la journée (Norton et al., 2015). Les infrastructures vertes souvent associées au contrôle des effets des hautes températures sont la canopée urbaine, les espaces publics végétalisés, les toits verts et les structures verticales vertes (McPhearson et al., 2018). Toutes ces infrastructures refroidissent l'environnement qui les entoure grâce principalement au processus d'évapotranspiration réalisé par les plantes et à la capacité de celles-ci de produire de l'ombrage (ICF, 2018). La canopée urbaine, par exemple, peut réduire la température de l'air de 1 à 3 °C (O'Neill et al., 2009). La structure, la composition et la gestion de la végétation associée aux infrastructures vertes influencent leur capacité de régulation du climat. Ainsi, un parc urbain ayant différentes couches de végétation (herbacée, arbustive, canopée) a une meilleure capacité de réguler la température qu'un parc possédant uniquement de la végétation herbacée (Vieira et al., 2018).

### **3.2.3 Augmentation de la résilience des écosystèmes urbains et des populations**

Les changements climatiques ont le potentiel d'aggraver plusieurs enjeux environnementaux auxquels les villes sont déjà confrontées. La dégradation et la fragmentation des habitats ainsi que la perte de la biodiversité figurent parmi ces enjeux. Les infrastructures vertes mises en place le long de ruisseaux, de voies ferrées ou de routes ainsi que les espaces publics végétalisés, les toits verts et les structures verticales vertes offrent des habitats à la faune urbaine et favorisent la connectivité biologique. En agissant ainsi, elles maintiennent la biodiversité des villes et augmentent la résilience des écosystèmes urbains (Feix et al., 2018; Vásquez, Giannotti, Galdámez, Velásquez et Devoto, 2019).

De plus, les infrastructures vertes procurent aux citoyens plusieurs bienfaits qui contribuent à leur bien-être et qui les aident à accroître leur résilience face aux changements climatiques (Commission européenne, 2014; Feix et al., 2018; ICF, 2018). D'abord, la canopée urbaine, les toits verts et les structures

verticales vertes participent à la purification de l'air du fait que la végétation et les sols peuvent piéger des polluants gazeux (p. ex. : ozone, dioxyde de soufre, dioxyde d'azote, etc.) et des particules (p. ex. : PM<sub>10</sub>) (Feix et al., 2018). Ainsi, « un arbre mature peut piéger jusqu'à 20 kg/an de particules » (Feix et al., 2018, p. 21). En outre, il a été estimé que le couvert forestier urbain de la ville de Québec filtre chaque année 242 tonnes de polluants atmosphériques (Wood et al., 2018).

Les toits verts et les structures verticales vertes créent également un effet d'isolation acoustique qui améliore la productivité des occupants des bâtiments (St-Cyr, 2018, 22 mai; Zaid et al., 2018). En outre, les infrastructures vertes protègent les toitures et les façades contre les vents, le rayonnement thermique et les fortes précipitations et contribuent, par conséquent, à prolonger la durée de vie des bâtiments et à réduire les coûts d'entretien (Zaid et al., 2018). De plus, les infrastructures vertes collaborent à la santé et au bien-être de la population parce qu'elles offrent des espaces de détente qui favorisent les loisirs extérieurs (Demuzere et al., 2014; Feix et al., 2018). En effet, des promenades dans les parcs urbains ou dans les forêts urbaines créent un sentiment de relaxation et de détente (ICF, 2018).

### **3.2.4 Séquestration et stockage du carbone**

Un des plus importants services écosystémiques offerts par les infrastructures vertes est leur capacité de séquestration et de stockage du carbone. En effet, les plantes et les sols capturent le CO<sub>2</sub> atmosphérique par l'entremise de la photosynthèse et l'accumulent sous forme de matière organique (Kavehei, Jenkins, Adame et Lemckert, 2018). Une étude réalisée par Wood et al. (2018) estime que la canopée urbaine de la ville de Québec séquestre 9 788 tonnes de carbone par an, ce qui a une valeur économique<sup>4</sup> de plus de 1,5 M\$ par an. De plus, jusqu'en 2018, la canopée urbaine de la ville de Québec a stocké 355 000 tonnes de carbone dans sa biomasse, ce qui a une valeur économique de 55 M\$. De même, il a été estimé que la forêt urbaine de la ville de Vancouver séquestre environ 24 000 tonnes de CO<sub>2</sub> chaque année et stocke 611 000 tonnes de CO<sub>2</sub> sous la forme de biomasse, ce qui procure des avantages économiques de 1 M\$ et de 29 M\$, respectivement (City of Vancouver et Vancouver Park Board, 2018).

Les toits verts et les structures verticales vertes ont aussi une capacité de séquestrer du carbone, mais en moindre quantité que la canopée urbaine. Ainsi, d'après une revue de la littérature réalisée par Besir

---

<sup>4</sup> Dans l'étude de Wood et al. (2018), les valeurs économiques pour la séquestration et le stockage du carbone sont dérivées du coût social du carbone. Ceci représente les coûts potentiels associés aux émissions d'une tonne supplémentaire de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.



et Cuce (2018), les toits verts peuvent séquestrer entre 0,38 à 30 kg de carbone/m<sup>2</sup>, tandis que les structures verticales vertes séquestrent entre 0,99 et 0,14 kg de carbone/m<sup>2</sup>. En ce qui a trait aux infrastructures vertes associées aux aménagements piétonniers et cyclables, leur contribution à la réduction des émissions de GES est indirecte du fait qu'elles encouragent le transport non motorisé qui est moins polluant (Vásquez et al., 2019).

### **3.2.5 Réduction de la consommation d'énergie**

Comme indiqué précédemment, les villes consomment plus des deux tiers de l'énergie mondiale; le secteur du bâtiment étant l'un des plus énergivores (Besir et Cuce, 2018; Mi et al., 2019). Plusieurs études ont montré que les toits verts et les structures vertes verticales ont des effets refroidissant importants dans les bâtiments où ils sont installés, ce qui améliore leur performance énergétique (Besir et Cuce, 2018; Bustami, Belusko, Ward et Beecham, 2018; Shafique et al., 2018; Zaid et al., 2018). Cet effet refroidissant est le résultat de leur capacité à absorber ou à refléter une partie des rayonnements solaires, à créer de l'ombrage et à réduire la vitesse du vent en hiver (Feix et al., 2018). De plus, la vapeur d'eau provenant de l'évapotranspiration réalisée par les plantes « rafraîchit l'air ambiant aux abords ou à la surface des bâtiments en été » (Feix et al., 2018, p. 57). Selon Zaid et al. (2018), les structures verticales vertes ont un effet refroidissant plus important que les toits verts puisque leur taux d'évapotranspiration est plus élevé et qu'elles peuvent s'installer à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments.

En général, les toits verts peuvent réduire de 80 % la quantité de chaleur susceptible de pénétrer dans les bâtiments en été (Besir et Cuce, 2018). Un toit vert extensif peut diminuer de 38 % la consommation d'énergie annuelle (climatisation et chauffage), tandis qu'un toit intensif peut la diminuer de 47 % (Feix et al., 2018). En ce qui concerne les structures verticales vertes, un mur vert peut engendrer des économies d'énergie de 59 % en été et de 34 % en hiver, tandis qu'une façade verte génère des économies d'énergie de 4 % en été et de 2 % en hiver (Coma et al., 2016).

D'après un examen systématique réalisé par Ko (2018), il est clair que l'ombrage offert par les arbres de rue et les forêts urbaines contribuent aussi à réduire la consommation d'énergie des bâtiments. Cependant, la valeur des économies d'énergie associées à la canopée urbaine varie grandement dans la littérature en raison des multiples variables qui influencent sa détermination : le climat, le type d'arbre, les données, les hypothèses et la méthode de calcul utilisée (Ko, 2018). Pour cette raison, il est difficile de donner des valeurs précises de leur contribution à la réduction de la consommation d'énergie.

### **3.3 Les infrastructures vertes et leur contribution à la création de synergies atténuation-adaptation**

À la lumière de la section précédente, il est clair que la mise en place d'infrastructures vertes offre plusieurs opportunités pour la création de synergies atténuation-adaptation à l'échelle urbaine, et ce, principalement grâce à leur multifonctionnalité. Les structures verticales vertes, par exemple, contribuent à la réduction de la température extérieure et intérieure des bâtiments, créant un effet refroidissant lors des vagues de chaleur, tout en réduisant la consommation d'énergie et, par conséquent, les émissions de CO<sub>2</sub> (Zaid et al., 2018).






De leur côté, les espaces publics végétalisés comme les forêts urbaines soutiennent à la fois l'atténuation, au moyen de la séquestration du carbone et de la réduction de la demande d'énergie par l'effet d'ombrage, et l'adaptation, en réduisant l'effet d'îlot de chaleur urbain et en contrôlant le ruissellement des eaux pluviales (Tran, Siry, Bowkeret et Poudyal, 2018). De plus, la multifonctionnalité des toits verts fait en sorte qu'ils agissent aussi dans la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et de la consommation d'énergie en milieu urbain, et ce, tout en réduisant le ruissellement des eaux pluviales et les débordements des réseaux d'égouts (Engström, Howells, Mörtberg et Destouni, 2018).

Sous cet angle, le tableau 3.2 synthétise les principales façons dont les infrastructures vertes contribuent à l'atténuation et à l'adaptation. Celles-ci sont des points de départ pour la création de synergies positives par combinaison de plusieurs bénéfices.

### **3.4 Leviers et barrières à l'implantation des infrastructures vertes en milieu municipal**

Considérant les sections précédentes, il est évident que la mise en œuvre d'infrastructures vertes offre plusieurs avantages pour les villes. D'abord, contrairement aux infrastructures grises qui répondent à un objectif précis ou unique, les infrastructures vertes sont multifonctionnelles. Cela signifie qu'elles répondent simultanément à plusieurs enjeux environnementaux (AEE, 2015; Matthews, Lo et Byrne, 2015). En outre, les infrastructures vertes offrent plusieurs avantages pour le bien-être des populations et pour l'économie locale. Ainsi, leur mise en place aide à la création d'emplois et augmente la valeur immobilière (Commission européenne, 2014). Ces avantages contribuent à leur acceptabilité tant par les populations que par les décideurs (Kim et Song, 2019; Matthews et al., 2015).

**Tableau 3.2 Contribution des infrastructures vertes à la lutte contre les changements climatiques**

Infrastructure verte	Principaux effets bénéfiques pour l'adaptation	Principaux effets bénéfiques pour l'atténuation
<p>Canopée urbaine</p>  <p>Tiré de : Ville de Montréal (s. d.b)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction des effets des pluies intenses et des inondations (D)</li> <li>• Réduction des effets des vagues de chaleur (D)</li> <li>• Réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain (D)</li> <li>• Augmentation de la résilience des écosystèmes urbains et de la population (D)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Séquestration et stockage de carbone (D)</li> </ul>
<p>Espaces publics végétalisés</p>  <p>Tiré de : Ville de Montréal (s. d.c)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction des effets des vagues de chaleur (D)</li> <li>• Réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain (D)</li> <li>• Augmentation de la résilience des écosystèmes urbains et de la population (D)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Séquestration et stockage de carbone (D)</li> </ul>
<p>Toits verts</p>  <p>Tiré de : Arteau (2014)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction des effets des pluies intenses et des inondations (D)</li> <li>• Réduction des effets des vagues de chaleur (D)</li> <li>• Réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain (D)</li> <li>• Augmentation de la résilience des écosystèmes urbains et de la population (D)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Séquestration et stockage de carbone (D)</li> <li>• Réduction de la consommation d'énergie des bâtiments</li> <li>• Réduction de la consommation d'énergie des usines de traitement des eaux usées (I)</li> </ul>
<p>Structures vertes verticales</p>  <p>Tiré de : Lapierre et Pellerin (2018)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction des effets des vagues de chaleur (D)</li> <li>• Réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain (D)</li> <li>• Résistance accrue des bâtiments aux effets des événements extrêmes</li> <li>• Augmentation de la résilience des écosystèmes urbains et de la population (D)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Séquestration et stockage de carbone (D)</li> <li>• Réduction de la consommation d'énergie des bâtiments (D)</li> </ul>
<p>Infrastructures vertes de gestion des eaux de pluie</p>  <p>Tiré de : Michaud (2018)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction des effets des pluies intenses et des inondations (D)</li> </ul>	<p>Réduction de la consommation d'énergie des usines de traitement des eaux usées (I)</p>

Légende : D : effet direct, I : effet indirect

Malgré ces avantages, il existe des barrières à leur mise en œuvre, notamment aux niveaux institutionnel, technique, financier et réglementaire (Li et al., 2019). Les barrières institutionnelles concernent principalement les structures de gouvernance figées qui freinent l'adoption des pratiques et des processus administratifs nécessaires à l'implantation des infrastructures vertes (ICF, 2018; Matthews et al., 2015). Le transfert de connaissances et la sensibilisation des décideurs locaux et des intervenants (p. ex. : les aménagistes et urbanistes) à l'égard des avantages offerts par les infrastructures vertes peuvent aider à franchir ces barrières. Plus précisément, ces activités peuvent aider à éliminer la résistance au changement des pratiques et des processus nécessaires pour favoriser l'installation des infrastructures vertes (ICF, 2018; Rivard, 2017, décembre).

La pénurie d'experts dans la conception, la mise en œuvre et l'entretien des infrastructures vertes fait partie des barrières techniques (ICF, 2018; Li et al., 2019). Les caractéristiques du milieu où l'implantation des infrastructures vertes est souhaitable peuvent également agir comme une barrière technique. Ces caractéristiques incluent la disponibilité de l'espace, la morphologie urbaine, le degré de contamination du site, les conditions géologiques (p. ex. : un niveau de nappe phréatique élevé) et les caractéristiques de la végétation et du climat (Matthews et al., 2015).

En outre, les coûts élevés d'introduction et d'entretien ainsi que le manque d'incitatif financier pour aider à les réduire constituent des barrières financières (Li et al., 2019; Rivard, 2017, décembre). En l'absence d'incitatifs, les villes peuvent percevoir l'implantation d'infrastructures vertes comme un risque important (Rivard, 2017, décembre). C'est souvent un manque de volonté politique pour créer ces incitatifs qui est à la base de cette barrière (Li et al., 2019). De plus, les analyses coûts-avantages pouvant faire la démonstration de leur faisabilité économique à long terme sont parfois limitées par un manque de données sur le statut des infrastructures vertes et de leurs services écosystémiques (Pauleit et al., 2019).

Les barrières réglementaires se manifestent lorsqu'il existe un manque de clarté quant aux responsabilités et aux façons de collaborer entre les institutions impliquées dans la mise en place des infrastructures vertes (Li et al., 2019). En effet, les carences sur le plan de la coopération inter ou intra-institutionnelle et le manque de coopération entre les différentes échelles gouvernementales peuvent entraîner une approche réglementaire conflictuelle ou restrictive; ce qui empêcherait la prise de décision sur les plans de l'implantation, la gestion et la maintenance des infrastructures vertes (Li et al., 2019; Rivard, 2017, décembre).

Toutes les barrières identifiées peuvent interagir en même temps. Ainsi, même si toutes les conditions en un endroit précis sont favorables pour la mise en place d'infrastructures vertes, un système de gouvernance, des facteurs qui entrent en conflit avec la réglementation municipale existante, un processus d'approbation plus long et un manque de financement peuvent faire en sorte que l'infrastructure ne soit pas construite (Matthews et al., 2015; Rivard, 2017, décembre).

## **4. ÉTUDES DE CAS**

Les infrastructures vertes sont déjà utilisées par diverses villes dans le monde afin de lutter contre les changements climatiques (Meerow et Newell, 2017; Shafique et al., 2018) et les villes canadiennes ne font pas exception. Des exemples d'utilisation d'infrastructures vertes dans quatre villes canadiennes de tailles diverses sont décrits dans cette section sous forme d'études de cas. Chacune de ces études explique succinctement les efforts réalisés par les villes dans la mise en place de ces infrastructures en soulignant le principal outil de planification utilisé à cet effet (c.-à-d. : une stratégie, un règlement, un plan, etc.). La contribution à la réduction des émissions de GES ou à l'adaptation aux changements climatiques associée à l'implantation des infrastructures vertes est également indiquée, lorsqu'identifiée par les villes.

### **4.1 Étude de cas 1 : Ville de Toronto**

#### **Type d'infrastructure verte : toits verts**

La ville de Toronto se classe troisième parmi les 10 villes nord-américaines possédant la plus grande superficie de toits verts. Elle est d'ailleurs la seule ville canadienne occupant une place dans ce classement (Stand et Peck, 2019). Le point de départ de ce leadership a été l'adoption, en 2006, d'une stratégie encourageant la construction de toits verts. Celle-ci s'articulait autour de quatre initiatives : i) un programme incitatif pour soutenir les entreprises du secteur privé dans l'installation des toits verts, ii) la construction de toits verts dans des bâtiments municipaux, iii) la promotion des toits verts dans de nouveaux quartiers par l'implantation d'un processus d'approbation simplifié et iv) l'implantation d'un programme de formation et de développement des capacités des employés de la Ville (City of Toronto, 2020c). Grâce à cette stratégie, environ 3 000 m<sup>2</sup> de toits verts ont été construits à Toronto, incluant des bâtiments municipaux, notamment le Centre civique York (204 m<sup>2</sup>) (figure 4.1), la bibliothèque Gladstone (176 m<sup>2</sup>) et le Jardin botanique de Toronto (223 m<sup>2</sup>). La stratégie a créé l'assise pour l'adoption en 2009 d'un règlement municipal sur les toits verts et d'un programme incitatif pour la mise en place de toits écoresponsables. La ville de Toronto est devenue ainsi la première ville nord-américaine à adopter un règlement municipal qui exige et régit la construction de toits verts sur de nouveaux développements urbains (C40 Cities, 2018).



**Figure 4.1 Toit vert sur l'édifice *City Hall* à Toronto** (tiré de : GreenRoofs.com, 2020).

Essentiellement, le règlement sur les toits verts de la Ville de Toronto ordonne la mise en œuvre graduelle de toits verts dans de nouveaux bâtiments résidentiels, institutionnels ou industriels ayant plus de 2 000 m<sup>2</sup> de superficie de plancher brute (City of Toronto, 2020a). On exige que la surface du toit vert varie entre 20 % à 60 % de la superficie disponible du bâtiment au prorata de sa grosseur. Ainsi, pour un bâtiment ayant une superficie brute entre 10 000 et 14 999 m<sup>2</sup>, l'étendue de toit vert exigée est de 40 % (City of Toronto, 2020a). Le règlement demande aussi le respect de la norme de construction de toits verts élaborée par la Ville, laquelle oriente la conception et la construction de toits verts selon les exigences qu'elle a établies (City of Toronto, 2020a; C40 Cities, 2018).

Lorsque la construction d'un toit vert en vertu du règlement n'est pas faisable, il est possible de demander une exemption afin de réduire la superficie de toit vert exigée (City of Toronto, 2020a). Pour ce faire, le propriétaire du bâtiment doit effectuer un paiement de 200 \$/m<sup>2</sup> de toit vert non construit et obtenir

l'approbation du planificateur en chef (City of Toronto, 2020a). Tous les fonds recueillis sont versés au programme incitatif des écotoits de la Ville de Toronto (C40 Cities, 2018; City of Toronto, 2020a). Ce programme soutient l'installation de toits verts ou de toits blancs sur des bâtiments existants en offrant à leurs propriétaires 100 \$/m<sup>2</sup> ou 2-5 \$/m<sup>2</sup> respectivement (City of Toronto, 2020b). Ceux qui désirent construire un toit vert sur un bâtiment existant peuvent également être admissibles à une subvention d'évaluation structurelle de faisabilité d'environ 1 000 \$ (C40 Cities, 2018; City of Toronto, 2020b).

À la fin de 2018, la Ville de Toronto a délivré environ 620 permis pour des projets de toits verts, ce qui représente approximativement 500 000 m<sup>2</sup> d'infrastructures vertes (Peck, 2019). De son côté, le programme incitatif des écotoits a soutenu environ 436 projets (73 de toits verts et 353 de toits blancs) (Peck, 2019). Les 73 projets de toits verts construits dans le cadre de ce programme ont contribué à 124 000 m<sup>2</sup> du total de 500 000 m<sup>2</sup> (Peck, 2019). L'installation de ces infrastructures vertes dans la ville de Toronto a eu un impact économique positif grâce à la création de nouveaux emplois (12 personnes au minimum chaque année) (C40 Cities, 2018). Aussi, comme les espaces verts en ville ont augmenté, il en est de même pour la biodiversité urbaine (C40 Cities, 2018). Les toits verts ont également contribué aux efforts de la Ville pour faire face aux impacts des changements climatiques, notamment à la réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain, à la diminution du ruissellement des eaux pluviales et à la réduction des émissions de GES (C40 Cities, 2018). À cet effet, selon Peck (2019), les bénéfices annuels ont été calculés<sup>5</sup> à :

- 222 millions de litres d'eaux de pluie ne transitant plus par les égouts de la ville
- 225 tonnes de carbone séquestrées
- Des économies de 3,2 millions de kWh pour les bâtiments ayant des toits verts
- Des économies en électricité de 1,6 million de kWh pour les bâtiments avoisinants grâce à la réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain

Finalement, le règlement sur les toits verts de la Ville de Toronto soutient la mise en œuvre d'autres politiques importantes de la ville comme la stratégie climatique *TransformTO* et le *Wet Weather Flow Management Plan* (C40 Cities, 2018).

---

<sup>5</sup> Ces bénéfices ont été calculés en utilisant les valeurs moyennes pour l'industrie provenant de la matrice coûts-avantages des infrastructures vertes élaborée par la Fondation sur les infrastructures vertes (*Green Infrastructure Foundation*) et en supposant que 20 % des toits sont intensifs et 80 % sont extensifs (Peck, 2019).



## 4.2 Étude de cas 2 : Ville de Vancouver

### Type d'infrastructure verte : infrastructures vertes de gestion des eaux de pluie

Avec les changements climatiques, les épisodes de pluies intenses à Vancouver seront 35 % plus forts d'ici 2050 (City of Vancouver, 2019a). Consciente des défis et des impacts associés à une gestion des pluies plus abondantes, la Ville de Vancouver a priorisé, comme stratégie d'adaptation, l'élaboration et la mise en œuvre d'un Plan de gestion intégrée des eaux pluviales (PGIEP) (City of Vancouver, 2019a). Le plan, qui a été approuvé par le conseil municipal de la Ville en 2016, se fixait comme objectif de capturer et de traiter au minimum 90 % des précipitations par la mise en œuvre d'infrastructures vertes de gestion des eaux pluviales sur des terrains publics, privés et des parcs sur une période de cinq ans (City of Vancouver, 2020a). Le PGIEP a également été le point de départ pour l'élaboration d'une stratégie spécifique sur les infrastructures vertes et sur la gestion des eaux de pluie (*Rain City Strategy*) (Conger et al., 2019).

La *Rain City Strategy* a été développée sur une période de trois ans et a été approuvée par le conseil municipal en 2019 (City of Vancouver, 2020b). Elle est la référence pour la mise en place d'infrastructures vertes jusqu'en 2050 afin d'améliorer la qualité de l'eau, d'accroître la résilience aux changements climatiques et d'améliorer les écosystèmes naturels de la ville (Scholefield, 2018, décembre). En lien direct avec le PGIEP, la stratégie a pour objectif de capturer et de traiter 90 % des pluies qui tombent sur la ville. De plus, elle établit une norme de conception pour que les infrastructures vertes soient capables d'absorber et de traiter 48 mm de pluie par jour (Conger et al., 2019). Pour atteindre ces objectifs, la stratégie propose trois plans d'action associés : le premier pour les rues et les espaces publics, le deuxième pour les bâtiments et les sites et le dernier pour les parcs et les plages (Conger et al., 2019).

Au cours du développement de la *Rain City Strategy*, 38 infrastructures vertes de gestion des eaux de pluie ont été implantées dans divers espaces publics de la ville (figure 4.2). Ces aménagements s'ajoutent aux 238 infrastructures vertes déjà construites avant ou dans le cadre du PGIEP (Conger et al., 2019). La stratégie reconnaît que les infrastructures vertes sont des outils incontournables pour soutenir les efforts de la Ville dans la lutte contre les changements climatiques, surtout en ce qui concerne la gestion des eaux de pluie, le contrôle des inondations et la formation d'îlots de chaleur urbains (Conger et al., 2019). Mais, en même temps, elle met en évidence d'autres bénéfices directs et indirects de l'utilisation d'infrastructures vertes tels que l'accès à l'eau et à l'air propres, la cohésion communautaire, la santé

mentale et physique, la conservation de la biodiversité urbaine et la création des habitats ainsi que les économies dans les coûts d'entretien des infrastructures de gestion des eaux (City of Vancouver, 2018).



**Figure 4.2** Cellule de biorétention, *East Fraser Lands, Vancouver* (tiré de : Conger et al., 2019, p. 6).

La *Rain City Strategy* renforce diverses politiques et divers programmes de la Ville de Vancouver et du *Vancouver Board of Parks and Recreation*, notamment le *Greenest City Action Plan* (2011), la *Urban Forest Strategy* (2014), la *Healthy City Strategy* (2015), la *Biodiversity Strategy* (2016), le *Water Conservation Plan* (2017), la *Climate Change Adaptation Strategy* (2018) et la *Resilient City Strategy* (2019).

### 4.3 Étude de cas 3 : Ville de Montréal

#### Type d'infrastructure verte : canopée urbaine

Un des objectifs du Plan de développement durable de la collectivité montréalaise (PDDCM) 2010-2015 est d'améliorer les infrastructures vertes en faisant passer la superficie de la canopée urbaine de 20 % à 25 % d'ici 2025 (Ville de Montréal, s. d.a). Afin d'atteindre ce but, la Ville de Montréal a d'abord réalisé une étude sur la canopée montréalaise (figure 4.3) afin d'établir une base de référence et d'identifier les endroits prioritaires pour la plantation des arbres (Boyce, 2013, février). L'étude a été complétée en 2011 et a permis de classer les arrondissements selon un indice de canopée et d'élaborer une fiche par

arrondissement contenant, entre autres, l'indice de canopée et l'état de la situation des arbres (plantations, abattages et diversité) (Boyce 2014, octobre). Cette étude a également été l'assise sur laquelle la Ville a développé son Plan d'action canopée (Direction des grands parcs et du verdissement, 2012).



**Figure 4.3 Canopée urbaine à Montréal** (tiré de : WWF Canada, 2019).

Le Plan d'action canopée de la Ville de Montréal reprend l'objectif du PDDCM d'augmenter la canopée urbaine montréalaise de 20 à 25 % d'ici 2025 et propose la plantation de 300 000 arbres dans l'agglomération de Montréal : 120 000 dans le domaine public municipal et 180 000 dans les domaines privé et institutionnel (Direction des grands parcs et du verdissement, 2012; Soverdi, 2013). Le plan statue sur la coordination partagée pour la mise en œuvre des actions. C'est la Soverdi qui doit coordonner les interventions dans les domaines privé et institutionnel, tandis que celles du domaine public doivent être coordonnées par la Ville de Montréal par l'entremise de la Direction des grands parcs et du verdissement (Soverdi, 2013).

Entre 2012 et 2018, 57 823 arbres ont dû être abattus à cause des infestations d'agrile du frêne, un insecte ravageur forestier. Cependant, la Ville a planté 135 185 arbres dans la même période, ce qui a aidé à maintenir un bilan positif de plantation des arbres (Gobeille, 2019, 4 août). Pour sa part, la Soverdi a mis en place divers projets de plantation d'arbres depuis 2012 grâce à la création de l'Alliance forêt urbaine. Cette dernière est un regroupement de 50 organisations du secteur institutionnel (éducation, santé, culture et patrimoine) et du secteur privé (résidentiel et communauté, industriel et commercial) (Soverdi, s. d.). L'étroite collaboration entre l'Alliance forêt urbaine et la Soverdi a permis de dépasser le cap des 50 000 arbres plantés à Montréal en 2018 (Soverdi, 2018).

Le Plan d'action canopée de la Ville de Montréal reconnaît le rôle essentiel des arbres dans l'adaptation aux changements climatiques, notamment en ce qui concerne la lutte contre la formation d'îlots de chaleur urbains et la gestion des eaux pluviales et du ruissellement (Direction des grands parcs et du verdissement, 2012). L'impact positif des arbres sur la qualité de l'air, le maintien de la biodiversité, la santé physique, le bien-être psychologique et la valeur foncière sont également mis en évidence par le plan (Ville de Montréal, s. d.b). Par ailleurs, la Soverdi estime que la plantation de 300 000 arbres d'ici 2025 permettra à la ville de Montréal (Bélec, 2013, avril) :

- Une économie d'énergie de 360 480 gigajoules qui se traduira en économie de 95 M\$
- L'absorption de 1 363 200 mètres cubes d'eau de pluie qui se traduira en économie de 97 M\$
- La séquestration de 128 784 tonnes de CO<sub>2</sub> grâce à la photosynthèse qui se traduira en économie de 16 M\$
- La captation de 12 384 kg de poussière qui se traduira en économie de 5 M\$

Finalement, le Plan d'action canopée est en accord avec les orientations environnementales du PMAD en vigueur depuis 2012 sur le territoire de la CMM (Direction des grands parcs et du verdissement, 2012). Les activités du Plan d'action canopée sont complémentaires aux mesures de conservation du couvert forestier déployées pour répondre aux objectifs du PMAD. De plus, la Politique de l'arbre de Montréal (Ville de Montréal, 2005) et d'autres règlements à l'échelle des quartiers (règlements de zonage, restriction d'abattage d'arbres sains, etc.) soutiennent le but d'augmenter l'indice canopée de 5 % d'ici 2025.

#### **4.4 Étude de cas 4 : Ville de Beloeil**

##### **Type d'infrastructure verte : canopée urbaine et infrastructures vertes pour la gestion des eaux pluviales**

En septembre 2014, la Ville de Beloeil a fait une mise à jour de sa politique environnementale. Cette plus récente version incluait trois nouvelles orientations stratégiques. La première ciblait le verdissement de la ville par la réalisation de diverses actions pour accroître le couvert végétal et la biodiversité (Ville de Beloeil, 2014). Ces actions incluaient, entre autres, l'augmentation de la proportion de massifs végétaux et d'arbres, la création de parcs et d'espaces verts, la création d'une trame verte et de ceintures vertes, la protection des boisés, la transformation des bassins de rétention en réels milieux naturels et l'élimination des îlots de chaleur urbains (Ville de Beloeil, 2014).

Concernant cette dernière action, la Ville a décidé d'élaborer un plan spécifique intitulé Plan de lutte contre les îlots de chaleur et le ruissellement (Nature-Action Québec, 2020). Comme son nom l'indique, le plan permet à la fois de lutter contre les effets des îlots de chaleur urbains et d'améliorer la gestion des eaux de pluie. Le plan se base sur l'implantation d'infrastructures vertes et identifie trois sites prioritaires d'intervention : la rue commerçante Duvernay, le parc Eulalie-Durocher, et l'école Le Petit-Bonheur (Nature-Action Québec, 2020). Pour chacun de ces sites, le plan propose principalement diverses stratégies d'implantation d'infrastructures vertes en tenant compte des critères suivants : réduire le plus possible la température ambiante, maximiser les surfaces déminéralisées ou recouvertes de végétation, favoriser la rétention et l'infiltration de l'eau *in situ*, maximiser les services écosystémiques offerts par les infrastructures vertes et favoriser la reproductibilité dans d'autres espaces urbains (Nature-Action Québec, 2020). Les aménagements des infrastructures vertes proposés pour chaque site sont présentés dans le tableau 4.1.

En 2020, la Ville de Beloeil a reçu une subvention de la FCM et du gouvernement du Canada d'environ 750 000 \$, ce qui leur permettra de mettre en place les aménagements proposés pour la rue Duvernay (Ville de Beloeil, 2020). Grâce aux infrastructures vertes prévues, les surfaces perméables passeront de 18 % à 27 % dans la zone couverte par le projet (Ville de Beloeil, 2020). En outre, la plantation prévue des arbres devrait augmenter la superficie de couverture par la canopée de 5 % à 31 % (Ville de Beloeil, 2020). Deux bornes de recharge pour véhicules électriques et des supports à vélos seront également installés afin de promouvoir les déplacements écologiques et de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> (Ville de Beloeil, 2020). De sa conception jusqu'à sa mise en œuvre, le projet favorisera la mobilisation des commerçants autour

d'une identité commerciale ainsi que la sensibilisation du public sur le rôle des aménagements dans l'adaptation aux changements climatiques (Ville de Beloeil, 2020).

**Tableau 4.1 Principales stratégies d'aménagement d'infrastructures vertes proposées dans le Plan de lutte contre les îlots de chaleur et le ruissellement de la Ville de Beloeil** (compilation d'après : Nature-Action Québec, 2020, p. 10, 15, 17).

Site	Principales stratégies proposées
Rue Duvernay	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plantation d'arbres à grand déploiement</li> <li>- Verdissement et plantation de végétaux indigènes</li> <li>- Implantation d'infrastructures vertes végétalisées de rétention (fossé, bassin et noue de biorétention) ou de surfaces perméables</li> <li>- Aménagement d'un bassin de sédimentation</li> </ul>
Parc Eulalie-Durocher	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plantation de végétaux</li> <li>- Implantation d'infrastructures vertes végétalisées de rétention (fossé, bassin et noue de biorétention) ou de surfaces perméables</li> </ul>
École Le Petit-Bonheur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconstitution d'un écosystème forestier</li> <li>- Implantation d'infrastructures vertes végétalisées de rétention (fossé, bassin et noue de biorétention) ou de surfaces perméables</li> </ul>

Les aménagements verts proposés pour la rue Duvernay (figure 4.4) auront également un impact social positif direct sur les utilisateurs (commerçants et résidents avoisinants) et sur l'ensemble de la population qui profitera d'îlots de fraîcheur et de nouveaux espaces de rassemblement attrayants (Nature-Action Québec, 2020). Des retombées économiques positives sont aussi attendues. En effet, les coûts de traitement des eaux usées de la ville devront diminuer du fait que la mise en place d'infrastructures vertes pour la gestion des eaux pluviales dans la rue Duvernay permettra une diminution de 26 % du volume total d'eau de pluie atteignant les égouts de la ville (Nature-Action Québec, 2020). Le nombre de surverses devrait également diminuer ainsi que les coûts liés à leur gestion (Nature-Action Québec, 2020).





**Figure 4.4 Bande centrale filtrante végétalisée (biorétention) proposée sur la rue Duvernay, Ville de Beloeil** (tiré de : Nature-Action Québec, 2020, p. 12).

Le fait de réduire le volume d'eau qui est traité dans l'usine des eaux usées entraîne aussi des cobénéfices. En effet, si moins d'eau est traitée, moins d'énergie est utilisée et, par conséquent, les émissions de GES devraient diminuer. Selon le dernier inventaire des émissions de GES de la Ville de Beloeil, les émissions de GES du traitement des eaux usées étaient de 404,44 tonnes CO<sub>2</sub>e (Conseil régional de l'environnement de la Montérégie, 2013).

## 5. ANALYSE DES ÉTUDES DE CAS

À la lumière des études de cas présentées dans la section précédente, des facteurs et des mécanismes potentiels favorisant la création de synergies atténuation-adaptation dans la mise en place d'infrastructures vertes ont été identifiés et sont présentées dans les paragraphes suivants. Dans un premier temps, l'analyse cible les facteurs observés dans les études de cas. Ensuite, l'analyse se penche sur les mécanismes potentiels favorisant des effets synergiques. La section se conclut par des observations sur l'existence de synergies atténuation-adaptation dans les études de cas présentées en tenant compte de la définition du concept de synergie exposée à la section 2.1 et des facteurs et mécanismes identifiés.

### 5.1 Facteurs potentiels favorisant la création de synergies atténuation-adaptation

Tel qu'indiqué à la section 3 consacrée aux infrastructures vertes, ces dernières offrent plusieurs avantages pour soutenir simultanément l'atténuation et l'adaptation aux changements climatiques (tableau 3.2). Les études de cas l'ont d'ailleurs confirmé. En effet, des bénéfices pour l'atténuation et l'adaptation ont été identifiés dans toutes les études (tableau 5.1). De ce fait, il est indéniable que les infrastructures vertes contribuent à la fois à l'atténuation et à l'adaptation et qu'elles ont la capacité de créer des synergies atténuation-adaptation.

**Tableau 5.1 Bénéfices des infrastructures vertes pour l'atténuation et l'adaptation identifiés dans les études de cas.**

Stratégie climatique	Bénéfices	Toronto	Vancouver	Montréal	Beloeil
Adaptation	Réduction des effets des pluies intenses et des inondations	X	X	X	X
	Réduction des effets des vagues de chaleur et de l'îlot de chaleur urbain	X	X	X	X
	Augmentation de la résilience des écosystèmes urbains et des populations	X	X	X	X
Atténuation	Réduction des émissions de GES grâce à la capture et le stockage de carbone	X	P.I.	X	P.I.
	Réduction de la consommation d'énergie (efficacité énergétique)	X	X	X	X

P.I. : Les informations recueillies sur l'étude de cas n'ont pas permis de confirmer ce bénéfice.

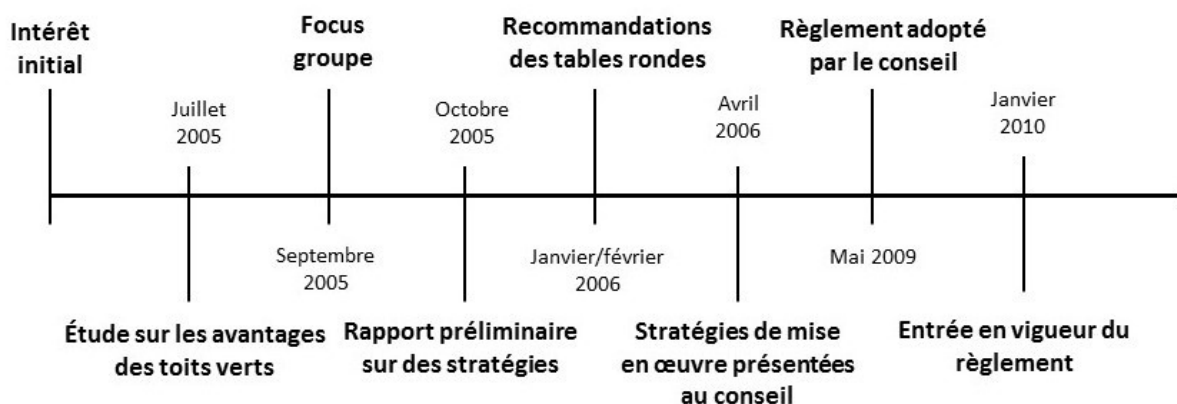


Il a été indiqué précédemment que l'atténuation et l'adaptation sont en général traitées de façon indépendante dans la plupart des outils de planification utilisés par les villes pour lutter contre les changements climatiques (voir la section 2). Les études de cas démontrent qu'un changement est en train de s'opérer à cet effet, l'atténuation et l'adaptation étant traitées simultanément dans tous les outils de planification qui y sont décrits. Grafakos et al. (2019) ont d'ailleurs observé une tendance similaire. Ceci constituerait donc un premier facteur favorisant les synergies atténuation-adaptation.

L'expertise et les connaissances acquises par les villes lors de l'élaboration des outils de planification décrits dans les études de cas constituent un deuxième facteur favorisant la création de synergies. Dans le cas de la ville de Vancouver, par exemple, la *Rain City Strategy* a mis à profit les efforts précédents de la Ville en matière de gestion des eaux de pluie, lesquels incluaient la réalisation de projets pilotes d'infrastructures vertes ainsi que les leçons tirées de la mise en place du PGIEP (Conger et al., 2019). La Ville de Toronto a aussi travaillé avec des professeurs universitaires afin d'élaborer l'une des premières évaluations détaillées sur les coûts et les avantages de l'installation généralisée de toits verts dans la ville (Peck, 2019). Elle a également mené des consultations auprès de diverses parties prenantes et d'acteurs du milieu (entre autres des fournisseurs de toits verts, des architectes, des paysagistes, des promoteurs, des citoyens) avant d'adopter le règlement sur les toits verts (figure 5.1). Une des principales barrières à la mise en place d'infrastructures vertes s'avère le manque d'expertise et de ressources techniques. Toutes ces activités ont permis à la Ville de surmonter ces barrières et de renforcer ses capacités en matière d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques.

La figure 5.1 démontre également que le développement du règlement sur les toits verts à Toronto a été un effort de longue haleine qui a nécessité un engagement exceptionnel et une certitude profonde de la part des représentants de la ville. Le maire de Toronto, le directeur de la division des installations et de l'immobilier de la ville, le directeur de la division de planification et le chef de la division des bâtiments ont été impliqués dans le développement du règlement (Peck, 2019). Ces personnes se sont engagées à soutenir le dossier des toits verts tout au long du processus, qui s'est échelonné sur plusieurs années. Elles ont également cru à l'impact positif que ces infrastructures auraient sur la ville. La façon dont elles ont agi est liée au leadership et à la volonté politique, deux éléments essentiels pour franchir le pas vers l'action climatique en milieu municipal (voir la section 1.3) et promouvoir l'implantation d'infrastructures vertes (voir la section 3.4). Les autres villes ont aussi démontré, à différents degrés, un désir de devenir des leaders dans l'action climatique. À cet effet, elles se sont dotées de divers outils pour atteindre cet objectif,

incluant les outils décrits dans les études de cas. De plus, les villes de Vancouver, Toronto et Montréal font partie des initiatives mondiales qui promeuvent l'échange d'informations et d'expertise sur les changements climatiques tels que le *Cities Climate Leadership Group* (C40) et le *Global Covenant of Mayors for Climate and Energy*.



**Figure 5.1 Événements marquants lors du développement du règlement sur les toits verts de la Ville de Toronto** (tiré de : White, s. d., p.3).

Avec l'engagement et la certitude émerge la capacité à obtenir ou à générer du financement et ceci constitue le dernier facteur potentiel favorisant la création de synergies atténuation-adaptation. Comme indiqué à la section 1.3, le manque de financement est une barrière importante à l'action climatique. Les coûts élevés d'introduction et d'entretien des infrastructures vertes sont aussi des freins à leur mise en place (voir la section 3.4). Les études de cas démontrent que les villes ont utilisé diverses stratégies pour obtenir les fonds nécessaires à la mise en la place d'infrastructures vertes. Dans le cas de la ville de Toronto, par exemple, le règlement sur les toits verts est accompagné d'un programme de subvention des toits verts. En ce qui concerne la ville de Beloeil, elle a obtenu une subvention octroyée par le gouvernement du Canada et la FCM afin de réaliser le projet d'infrastructures vertes de la rue Duvernay qui fait partie de son Plan de lutte contre les îlots de chaleur urbains et le ruissellement (Ville de Beloeil, 2020). La Ville de Montréal, pour sa part, finance jusqu'à 60 % des projets de plantation d'arbres réalisés par la Soverdi sur des terrains privés. Les 40 % restants sont souvent financés par les institutions et les organismes qui souhaitent réaliser ces projets. Il arrive aussi parfois que les projets soient financés au complet par des organisations et institutions privées (Soverdi, 2018).

Le tableau 5.2 synthétise les facteurs identifiés dans les études de cas qui favorisent la création des synergies atténuation-adaptation.

**Tableau 5.2 Facteurs favorisant la création de synergies atténuation-adaptation observés dans les études de cas.**

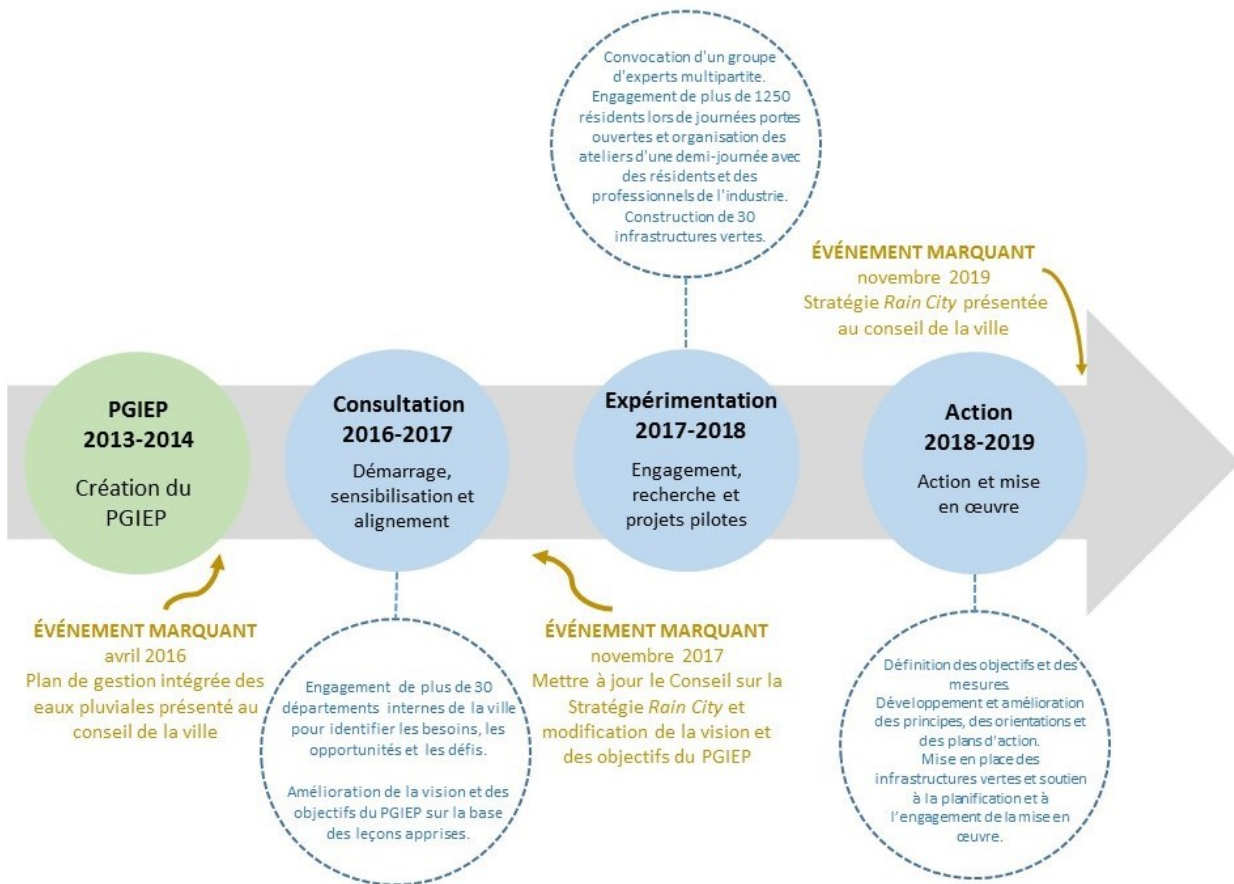
Facteurs	Toronto	Vancouver	Montréal	Beloeil
1. Traitement combiné de l'atténuation et de l'adaptation dans les outils de planification développés par les villes	X	X	X	X
2. Acquisition de connaissances et création de l'expertise sur les infrastructures vertes et leur capacité à créer des synergies	X	X	P.I.	P.I.
3. Engagement et certitude des bienfaits des infrastructures vertes	X	X	X	X
4. Capacité à obtenir ou à générer du financement	X	P.I.	X	X

P.I. : Les informations recueillies sur l'étude de cas n'ont pas permis de confirmer ce facteur.

## 5.2 Mécanismes potentiels favorisant des synergies atténuation-adaptation

Lors de l'élaboration des outils de planification décrits dans les études de cas, les villes ont entamé différents processus qui soutiennent des mécanismes favorisant la création de synergies atténuation-adaptation. Dans le cas de la ville de Vancouver, par exemple, l'élaboration de la *Rain City Strategy* s'est déroulée en trois étapes d'une durée d'environ deux ans chacune : i) consultation, ii) expérimentation et iii) action (figure 5.2) (Conger et al., 2019). L'étape de consultation a été axée sur la recherche et l'identification des problèmes, mais surtout sur un dialogue étroit entre divers partenaires internes et externes de la Ville afin qu'ils définissent ensemble la portée de la stratégie (Conger et al., 2019). Les partenaires internes qui ont été impliqués sont principalement le département des services en ingénierie; le département de la planification, de l'aménagement et du développement durable; le département de la construction, des bâtiments et des autorisations; le département de la gestion, planification et développement de projets; et le département des finances, risques et approvisionnement (Conger et al., 2019). Le *Vancouver Board of Parks and Recreation*, une organisation publique responsable de la gestion de parcs urbains de la ville a également été impliqué dans le processus de consultation (Conger et al., 2019). Les parties prenantes externes y ayant participé incluent des experts du domaine, mais aussi des résidents et des professionnels de diverses industries (Conger et al., 2019). La collaboration avec ces

partenaires internes et externes s'est poursuivie lors des étapes subséquentes d'expérimentation et d'action, qui ont inclus la mise en place de projets pilotes d'infrastructures vertes ainsi que le développement des objectifs et des cibles de la stratégie (figure 5.2) (Conger et al., 2019).



**Figure 5.2 Phases de développement de la *Rain City Strategy* de la Ville de Vancouver** (inspiré de : Conger et al., 2019, p. 26.).

Le fait que la *Rain City Strategy* ait été élaborée par le biais d'un processus collaboratif et de cocréation impliquant de multiples parties prenantes internes et externes constitue un mécanisme favorisant les synergies atténuation-adaptation. D'abord, parce que les parties prenantes ont à la fin du processus la même vision de la contribution des infrastructures vertes à l'atténuation et à l'adaptation. Cela facilite le travail collaboratif entre les départements lorsque des décisions quant à l'atténuation et à l'adaptation doivent être prises. Du coup, cela réduit aussi les barrières institutionnelles qui pourraient freiner l'adoption des pratiques nécessaires pour favoriser la création de synergies. Ensuite, parce que la

participation des partenaires au processus accroît leurs connaissances sur la façon dont les infrastructures vertes contribuent à la lutte contre les changements climatiques ainsi qu'aux défis associés à leur mise en place. Ceux-ci sont donc davantage sensibilisés et prêts à travailler de concert et à créer des efforts synergiques.

Le fait que les outils soutenant la mise en place d'infrastructures vertes aient été élaborés en tenant compte de l'impact que ceux-ci auraient dans l'atteinte des objectifs et lors de la mise en œuvre d'autres outils normatifs développés par les villes constitue un autre mécanisme favorisant la création de synergies atténuation-adaptation présent dans toutes les études de cas. Dans le cas de la ville de Vancouver, par exemple, la *Rain City Strategy* prend en considération d'autres stratégies développées par la ville dont les objectifs sont complémentaires et au même niveau d'action comme la Stratégie sur la forêt urbaine ou la Stratégie sur la biodiversité (figure 5.3). De plus, les objectifs et la mise en œuvre de la *Rain City Strategy* s'insèrent et répondent aux objectifs d'autres outils normatifs à plus haut niveau comme la Stratégie régionale de croissance, la Stratégie pour une ville résiliente et la Stratégie pour l'adaptation aux changements climatiques (figure 5.3.). Bien que chacun de ces outils normatifs ait un objectif particulier, le fait qu'il existe un lien entre ces objectifs et leur mise en œuvre favorise une certaine cohérence, mais surtout un effet synergique, car tous agissent de manière coordonnée et intégrée.

Ce maillage entre les outils soutenant la mise en place d'infrastructures vertes et d'autres outils normatifs des villes est également présente dans les autres études de cas. Ainsi, le règlement sur les toits verts de la Ville de Toronto découle d'une stratégie encourageant la construction de toits verts. De plus, ses objectifs soutiennent la mise en œuvre de plans à plus haut niveau comme le Plan officiel de la Ville, la Stratégie climatique *TransformTO* et le *Wet Weather Flow Management Plan*. Dans le cas de la Ville de Montréal, le Plan d'action canopée répond directement aux objectifs du Plan de développement durable, mais il s'aligne aussi parfaitement au PMAD de la CMM, un plan qui agit sur les éléments d'aménagement urbain à une échelle régionale. Finalement, le Plan de lutte contre les îlots de chaleur urbains et le ruissellement de la Ville de Beloeil a été développé pour répondre aux orientations stratégiques de la Politique environnementale de la Ville.



**Figure 5.3 Interdépendances et relations de la *Rain City Strategy* avec d'autres stratégies de la Ville de Vancouver** (inspiré de : City of Vancouver et Vancouver Park Board, 2018, p. 3).

### 5.3 Synergies atténuation-adaptation dans les études de cas

Selon la définition de synergie proposée à la section 2.1, cette dernière se produit lorsque l'interaction entre l'atténuation et l'adaptation génère un effet combiné supérieur à la somme des effets dans le cas où elles auraient été mises en place séparément. Autrement dit, une synergie devrait créer un effet  $1 + 1 > 2$ . Sur la base de cette définition et des informations obtenues pour les villes étudiées, il serait

approprié de dire que l'implantation d'infrastructures vertes a généré plus de cobénéfices que de synergies atténuation-adaptation. Cependant, il est fort probable que ces cobénéfices soient des synergies, non seulement grâce aux facteurs et aux mécanismes identifiés, mais aussi parce que les outils de planification étudiés priorisent simultanément des effets positifs pour l'atténuation et pour l'adaptation lors de la mise en œuvre des infrastructures vertes, ce qui est une condition importante pour la création de synergies (Landauer et al., 2015). De plus, dans les études de cas, l'implantation d'infrastructures vertes permet d'utiliser les mêmes ressources pour l'obtention des effets positifs d'atténuation et d'adaptation. Encore là, il s'agit d'une autre condition pour la création de synergies qui démontre de façon préliminaire qu'un effet  $1 + 1 > 2$  s'est produit.

## 6. RECOMMANDATIONS

Les études de cas montrent que l'implantation d'infrastructures vertes dans les villes facilite la génération de synergies atténuation-adaptation. Les villes devront donc accroître leurs efforts d'implantation de ces infrastructures afin de tirer profit de ces synergies. De plus, il est souhaitable que lorsque la décision est prise de mettre en place une infrastructure verte, des analyses coûts-avantages soient réalisées afin de quantifier cet effet synergique. Le fait que la plupart des villes aient donné une valeur économique aux effets positifs pour l'atténuation et l'adaptation de la mise en place d'infrastructures vertes dans leur territoire est une première étape vers une analyse économique plus approfondie.

En outre, le présent essai cible un seul secteur (aménagement du territoire) et un seul thème (infrastructures vertes). Comme indiqué à la section 2, les synergies atténuation-adaptation sont possibles à l'intérieur d'un même secteur, mais aussi entre différents secteurs et échelles. Il est souhaitable de poursuivre l'analyse des facteurs et des mécanismes dans le secteur de l'aménagement du territoire, mais aussi en relation avec d'autres secteurs qui sont tout aussi importants pour les villes et municipalités. Les facteurs et les mécanismes créant des situations d'antagonisme ou des synergies négatives devraient eux aussi être évalués et identifiés.

Finalement, comme indiqué par Meerow et Newell (2017), la présence de synergies entre l'atténuation et l'adaptation est souvent dépendante des conditions environnementales, physiques, économiques et financières ainsi que des capacités d'organisation et du système de gouvernance des villes. En ce sens, l'identification, l'analyse et l'évaluation des synergies atténuation-adaptation devraient se poursuivre afin de mieux comprendre les mécanismes et les facteurs qui influencent leur création.



## CONCLUSION

Les changements climatiques sont une réalité à laquelle nous sommes tous confrontés. Le climat du Canada s'est réchauffé et continuera à se réchauffer deux fois plus vite que la moyenne mondiale au cours des prochaines années. Au Québec, les températures ont grimpé de 1 à 3 °C et en 2050 elles pourraient atteindre une hausse de 3 à 4 °C. Afin d'éviter les conséquences néfastes que cette nouvelle réalité climatique pourrait avoir, il est important d'agir dès maintenant tant pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) que pour s'adapter aux impacts actuels des changements climatiques. Autrement dit, agir sur les deux fronts simultanément : l'atténuation et l'adaptation.

Étant responsables d'environ 70 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> et avec des populations vulnérables aux impacts négatifs et aux risques des changements climatiques, les villes sont appelées à mettre en œuvre des solutions intégrées qui favorisent la création de synergies atténuation-adaptation. Les infrastructures vertes font partie de ces solutions. Dans ce contexte, les objectifs principaux de cet essai sont d'identifier les synergies potentielles pour l'atténuation et l'adaptation associées à la mise en place de ces infrastructures et de mieux comprendre les facteurs et mécanismes aidant leur mise en application.

La revue de la littérature a permis, dans un premier temps, d'établir que les outils utilisés par les villes pour répondre aux défis associés aux changements climatiques traitent généralement de façon séparée l'atténuation et l'adaptation. De plus, les outils de planification associés à l'aménagement du territoire, au transport ou à la gestion de risques seront également utilisés par les villes pour la mise en place des mesures d'atténuation ou d'adaptation. Selon divers auteurs, l'origine de cette divergence est causée principalement par les différentes échelles temporelles et spatiales associées à l'atténuation et à l'adaptation ainsi qu'aux acteurs impliqués et à leurs niveaux de collaboration lors de leur mise en place. Des synergies entre l'atténuation et l'adaptation ont toutefois déjà été identifiées dans quelques secteurs comme l'agriculture, la foresterie, l'énergie et les finances.

Il a également été possible de constater que la synergie entre l'atténuation et l'adaptation constitue l'un des trois types d'interrelations possibles entre celles-ci. Les compromis et les antagonismes ou synergies négatives étant les autres types. Selon la littérature, les termes « synergie » et « cobénéfice » sont parfois utilisés comme des synonymes mais, en fait, l'existence des cobénéfices serait la première étape pour créer des synergies. Le contexte et le temps influencent leur occurrence. En ce qui concerne les compromis, il en existe deux types. Ceux qui permettent d'augmenter l'adaptation aux dépens de

l'augmentation des émissions de GES; et ceux qui permettent d'augmenter l'atténuation au détriment de la génération de vulnérabilités. Les premiers sont identifiés comme des compromis d'adaptation, tandis que les deuxièmes sont connus sous le nom de compromis d'atténuation.

En ce qui a trait aux infrastructures vertes, six grandes catégories ont été identifiées : i) canopée urbaine, ii) espaces publics végétalisés, iii) toits verts, iv) structures verticales vertes, v) infrastructures vertes de gestion des eaux pluviales et vi) infrastructures vertes associées aux aménagements piétons et cyclables. Toutes ces infrastructures peuvent être implantées à l'échelle d'une ville et divers exemples existent à Montréal. De plus, toutes ces infrastructures vertes offrent des effets bénéfiques pour l'atténuation et l'adaptation qui pourraient être à l'origine de synergies. Parmi ceux-ci, il y a la réduction des effets des pluies intenses et des inondations, la réduction des effets des vagues de chaleur et des îlots de chaleur urbains, l'augmentation de la résilience des écosystèmes urbains et de la population, la séquestration et le stockage de carbone et la réduction de la consommation d'énergie des bâtiments.

L'analyse des études de cas a permis d'identifier des facteurs ayant le potentiel de favoriser des synergies atténuation-adaptation lors de la mise en place d'infrastructures vertes sont : i) le traitement combiné de l'atténuation et de l'adaptation dans les outils de planification étudiés, ii) l'acquisition de connaissances et la création d'expertise, iii) l'engagement et la certitude des bienfaits des infrastructures vertes et iv) la capacité à obtenir ou à générer du financement. L'élaboration d'outils de planification pour les infrastructures vertes en utilisant des processus participatifs et l'intégration des outils de planification aux objectifs d'autres politiques et stratégies développés par les villes sont des mécanismes aidant à la création de synergies.

Selon la littérature, une synergie devrait créer un effet  $1 + 1 > 2$ . Sur la base de cette explication, il serait approprié de dire que l'implantation d'infrastructures vertes dans les études de cas proposées a généré plus de cobénéfices que de synergies atténuation-adaptation. Cependant, les facteurs et les mécanismes identifiés ainsi que la priorisation de l'atténuation et de l'adaptation dans les outils de planification évalués indiquent qu'il est fort probable que ces cobénéfices soient des synergies et qu'un effet  $1 + 1 > 2$  se soit produit, même s'il n'a pas été quantifié. Des études coûts-avantages permettront de les chiffrer et des évaluations intégrées permettront de les rendre tangibles en identifiant des indicateurs. Il est donc souhaitable que ce type d'études soit réalisé dans le futur.

## RÉFÉRENCES

- Agence européenne pour l'environnement (AEE). (2015). Infrastructure verte : Mieux vivre grâce à des solutions fondées sur la nature. *Lettre d'information de l'AEE*, 2015(3). Repéré à <https://www.eea.europa.eu/fr/articles/infrastructure-verte-mieux-vivre-grace>
- Agence QMI. (2019, 20 mars). Changements climatiques : La facture sera salée pour les grandes villes du Québec. *TVA Nouvelles*. Repéré à <https://www.tvanouvelles.ca/2019/03/20/changements-climatiques-la-facture-sera-salee-pour-les-grandes-villes-du-quebec>
- Allwood, J. M., Bosetti, V., Dubash, N., Gomez-Echeverri, L. et von Stechow, C. (2014). Glossaire. Dans O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler,... J. C. Minx (dir.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 1249-1279). Repéré à [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_annex-i.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-i.pdf)
- Arteau, R. (2014). *La construction de toits végétalisés. Guide technique pour préparer une solution de rechange*. Repéré à [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/AFFAIRES\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/TOITSVEGETALISES\\_CAHIEREXPLICATIF\\_JANVIER2014.PDF](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/AFFAIRES_FR/MEDIA/DOCUMENTS/TOITSVEGETALISES_CAHIEREXPLICATIF_JANVIER2014.PDF)
- Barnett, J. et O'Neill, S. (2010). Maladaptation. *Global Environmental Change*, 20(2), 211-213.
- Bartesaghi Koc, C., Osmond, P. et Peters, A. (2017). Towards a comprehensive green infrastructure typology: A systematic review of approaches, methods and typologies. *Urban Ecosystems*, 20(1), 15-35.
- Bazaz, A., Bertoldi, P., Buckeridge, M., Cartwright, A., de Coninck, H., Engelbrecht, F.,...Waisman, H. (2018). *Summary for Urban Policy Makers. What the IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 C Means for Cities*. Repéré à <https://www.c40.org/researches/summary-for-urban-policy-makers-what-the-ipcc-special-report-on-global-warming-of-1-5-c-means-for-cities>
- Bélec, P. (2013, avril). *Le Plan d'Action Canopée de Montréal*. Communication présentée au Congrès de l'Association des architectes paysagistes du Québec (AAPQ) 2013. Montréal, Québec. Résumé repéré à <https://aapq.org/bibliotheque/le-plan-d%E2%80%99action-canopee-de-la-ville-de-montreal-par-la-soverdi>
- Bertrand, F. et Richard, E. (2015). La délicate existence locale de l'adaptation aux changements climatiques : Avec, sans, ou à côté de l'atténuation. *Développement durable et territoires*, 6(3). Repéré à <https://journals.openedition.org/developpementdurable/11048>
- Besir, A. B. et Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 915-939.
- Biagini, B., Bierbaum, R., Stults, M., Dobardzic, S. et McNeeley, S. M. (2014). A typology of adaptation actions: A global look at climate adaptation actions financed through the Global Environment Facility. *Global Environmental Change*, 25, 97-108.
- Bourque, F. (2019, 4 octobre). Les villes projetées dans le « climat futur ». *Le Soleil*. Repéré à <https://www.lesoleil.com/chroniques/francois-bourque/les-villes-projetees-dans-le-climat-futur-94e3f975f6eca153bc4a67159d00138c>

- Boyce, M.-C. (2013, février). *La canopée urbaine. Nouvel outil, nouveau défi. Le cas de Montréal*. Communication présentée au Colloque 2013 de l'Association forestière des deux rives, Québec, Québec. Résumé repéré à [http://www.af2r.org/wp-content/uploads/2013/03/3-PPT-MarieClaudeBoyce\\_Colloque2013-r.pdf](http://www.af2r.org/wp-content/uploads/2013/03/3-PPT-MarieClaudeBoyce_Colloque2013-r.pdf)
- Boyce, M.-C. (2014, octobre). *Évolution du dossier de la canopée*. Communication présentée au Réseau des partenaires du Plan de Développement Durable de la Collectivité Montréalaise (PDDCM), Montréal, Québec. Résumé repéré à [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/D\\_DURABLE\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/1\\_MC\\_Boyce\\_VilleMtl\\_09102014.PDF](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/D_DURABLE_FR/MEDIA/DOCUMENTS/1_MC_Boyce_VilleMtl_09102014.PDF)
- Bush, E. et Lemmen, D. (dir.). (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Repéré à [https://www.rncan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/energy/Climate-change/pdf/RCCC\\_FULLREPORT-FR-FINAL.pdf](https://www.rncan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/energy/Climate-change/pdf/RCCC_FULLREPORT-FR-FINAL.pdf)
- Bustami, R. A., Belusko, M., Ward, J. et Beecham, S. (2018). Vertical greenery systems: A systematic review of research trends. *Building and Environment*, 146, 226-237.
- C40 Cities. (2012). Why cities? Ending climate change begins in the city. Repéré à <https://www.c40.org/ending-climate-change-begins-in-the-city>
- C40 Cities. (2017a). *C40 Cities Annual Report 2017*. Repéré à [https://issuu.com/c40cities/docs/c40\\_annual\\_report\\_2017](https://issuu.com/c40cities/docs/c40_annual_report_2017)
- C40 Cities. (2017b). *Focused acceleration: A strategic approach to climate action in cities to 2030*. Repéré à <https://www.c40.org/researches/mckinsey-center-for-business-and-environment>
- C40 Cities. (2018). City of Toronto's Eco-Roof Incentive Program and Green Roof Bylaw. Repéré à [https://www.c40.org/case\\_studies/city-of-toronto-s-eco-roof-incentive-program-and-green-roof-bylaw](https://www.c40.org/case_studies/city-of-toronto-s-eco-roof-incentive-program-and-green-roof-bylaw)
- C40 Cities et Arup. (2019). *Deadline 2020. Comment les villes vont relever le défi*. Repéré à [http://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other\\_uploads/images/1240\\_C40\\_Deadline2020\\_F.original.pdf?1498032766](http://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/1240_C40_Deadline2020_F.original.pdf?1498032766)
- C40 Cities, Arup et University of Leeds. (2019). *The Future of Urban Consumption in a 1.5°C World* (Headline Report). Repéré à [https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other\\_uploads/images/2270\\_C40\\_CBE\\_MainReport\\_250719.original.pdf?1564075036](https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/2270_C40_CBE_MainReport_250719.original.pdf?1564075036)
- Caillou, A. (2017, 22 juillet). Les toits verts peinent à pousser à Montréal. *Le Devoir*. Repéré à <https://www.ledevoir.com/societe/504033/environnement-les-toits-verts-peinent-a-pousser-a-montreal>
- Cajolet-Laganière, H., Martel, P. et Masson, C.-É. (2020). *Dictionnaire USITO*. Repéré à <https://usito.usherbrooke.ca/>
- Charron, I., Montel, B., Chochoy, M., Dumouchel-Fournier, R., Leroux, J., Bleau, N. et Da Silva, L. (2019). *Vers de grandes villes résilientes : Le coût de l'adaptation aux changements climatiques. Évaluation du coût de l'adaptation aux changements climatiques pour les 10 grandes villes du Québec*. Groupe AGÉCO. Repéré à <https://umq.qc.ca/wp-content/uploads/2019/05/adaptations-chgt-climat-caucus-gdes-viles-10mai19b.pdf>

- City of Toronto. (2020a). City of Toronto Green Roof Bylaw. Repéré à <https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan-guidelines/green-roofs/green-roof-bylaw/>
- City of Toronto. (2020b). Eco-Roof Incentive Program. Repéré à <https://www.toronto.ca/services-payments/water-environment/environmental-grants-incentives/green-your-roof/>
- City of Toronto. (2020c). Green Roofs. Repéré à <https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan-guidelines/green-roofs/>
- City of Vancouver. (2018). *Rain City Strategy Engagement Boards*. Repéré à <https://vancouver.ca/files/cov/rain-city-engagement-boards.pdf>
- City of Vancouver. (2019a). *Climate Change Adaptation Strategy. 2018 Update and Action Plan*. Repéré à <https://vancouver.ca/files/cov/climate-change-adaptation-strategy.pdf>
- City of Vancouver. (2019b). *Greenest City 2020 Action Plan. 2018—2019 Implementation*. Repéré à <https://vancouver.ca/files/cov/greenest-city-action-plan-implementation-update-2018-2019.pdf>
- City of Vancouver. (2020a). Citywide Integrated Rainwater Management Plan. Repéré à <https://vancouver.ca/home-property-development/city-wide-integrated-stormwater-management-plan.aspx>
- City of Vancouver. (2020b). Green rainwater infrastructure: Sustainably managing our rainwater. Repéré à <https://vancouver.ca/home-property-development/green-infrastructure.aspx>
- City of Vancouver et Vancouver Park Board. (2018). *Urban Forest Strategy. 2018 Update*. Repéré à <https://vancouver.ca/files/cov/urban-forest-strategy.pdf>
- Clavet-Gaumont, J. et Huard, D. (2016). *Synergies: Interactions between climate change adaptation and mitigation in Canada's Energy Supply Sector* (Final Report). Repéré à [https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportSynergie2016\\_EN.pdf](https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportSynergie2016_EN.pdf)
- Coma, J., Pérez, G., de Gracia, A., Burés, S., Urrestarazu, M. et Cabeza, L.F. (2016). Vertical greenery systems for energy savings in buildings: a comparative study between Green walls and Green facades. *Build Environment*, 111, 228-273.
- Commission européenne. (2014). *Créer une infrastructure verte pour l'Europe*. Luxembourg : Office des publications de l'Union européenne
- Communauté métropolitaine de Montréal (CMM). (2018). Suivi du PMAD 2012—2018. *Cahiers métropolitains, Septembre 2018*(7). Repéré à [https://cmm.qc.ca/wp-content/uploads/2019/02/cahiersMetropolitains\\_no07.pdf](https://cmm.qc.ca/wp-content/uploads/2019/02/cahiersMetropolitains_no07.pdf)
- Communauté métropolitaine de Montréal (CMM). (2019). *La Trame Verte et Bleue du Grand Montréal. Un réseau récréotouristique qui protège et met en valeur nos milieux naturels. Bilan et perspectives d'un vaste chantier métropolitain*. Repéré à <https://cmm.qc.ca/wp-content/uploads/2019/12/document-promo-TVB-150dpi.pdf>
- Conger, T., Couillard, A., de Hoog, W., Despins, C., Douglas, T., Gram, Y.,... Scholefield, M. (2019). *Rain City Strategy: A green rainwater infrastructure and rainwater management initiative*. Repéré à <https://vancouver.ca/files/cov/rain-city-strategy.pdf>
- Connor, J., Clermont, M. et Joly, E. (2019). La gestion et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Repéré à <http://www.mamunicipaliteefficace.ca/238-efficacite-energetique-ges-etat-des-lieux-au-quebec.html#bilan>

- Conseil régional de l'environnement de la Montérégie. (2013). *Plan d'action visant la réduction des émissions de gaz à effet de serre de la ville de Beloeil*. Repéré à <https://beloeil.ca/wp-content/uploads/2019/03/Plan-daction-Reduction-des-gaz-a-effet-de-serre-avril-2013.pdf>
- Cosgrove, E. et Spino, A. (2017). Toits végétaux. Étape par étape, avantages et inconvénients. Repéré à <https://www.ecohabitation.com/guides/2412/toits-vegetaux-etape-par-etape-avantages-et-inconvenients/>
- Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H.,... Faehnle, M. (2014). Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of Environmental Management*, 146, 107-115.
- Di Gregorio, M., Nurrochmat, D. R., Paavola, J., Sari, I. M., Fatorelli, L., Pramova, E.,...Kusumadewi, S. D. (2017). Climate policy integration in the land use sector: Mitigation, adaptation and sustainable development linkages. *Environmental Science & Policy*, 67, 35-43
- Dige, G., Kleeschulte, S., Philipsen, C., Schindler, S. et Sonderegger, G. (2015). *Exploring nature-based solutions: The role of green infrastructure in mitigating the impacts of weather- and climate change-related natural hazards*. Repéré à <http://bookshop.europa.eu/uri?target=EUB:NOTICE:THAK15012:EN:HTML>
- Direction des grands parcs et du verdissement. (2012). *Plan d'action canopée 2012—2021*. Repéré à [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/GRANDS\\_PARCS\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PAC\\_JUIN\\_2012\\_FINAL.PDF](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/GRANDS_PARCS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PAC_JUIN_2012_FINAL.PDF)
- Dorst, H., van der Jagt, A., Raven, R. et Runhaar, H. (2019). Urban greening through nature-based solutions – Key characteristics of an emerging concept. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101620.
- Duguma, L. A., Minang, P. A. et van Noordwijk, M. (2014). Climate Change Mitigation and Adaptation in the Land Use Sector: From Complementarity to Synergy. *Environmental Management*, 54(3), 420-432.
- Engström, R., Howells, M., Mörtberg, U. et Destouni, G. (2018). Multi-functionality of nature-based and other urban sustainability solutions: New York City study. *Land Degradation & Development*, 29(10), 3653-3662.
- Enviro-accès. (2013). *Plan d'adaptation aux changements climatiques 2013—2023. Ville de Sherbrooke*. Repéré à [https://contenu.maruche.ca/Fichiers/3337a882-4a53-e611-80ea-00155d09650f/Sites/333dd3d3-915d-e611-80ea-00155d09650f/Documents/Plans%20et%20schemas/Plan\\_d\\_adaptation\\_aux\\_changements\\_climatiques\\_2013-2023.pdf](https://contenu.maruche.ca/Fichiers/3337a882-4a53-e611-80ea-00155d09650f/Sites/333dd3d3-915d-e611-80ea-00155d09650f/Documents/Plans%20et%20schemas/Plan_d_adaptation_aux_changements_climatiques_2013-2023.pdf)
- EnviroEconomics. (2009). *Act Locally: The Municipal Role in Fighting Climate Change*. Repéré à <https://fcm.ca/sites/default/files/documents/resources/report/act-locally-municipal-role-fighting-climate-change.pdf>
- Équiterre et Regroupement national des conseils régionaux de l'environnement (RNCREQ). (2015a). *L'échelles de l'action contre les changements climatiques*. Repéré à <https://www.equiterre.org/sites/fichiers/fiche-09.pdf>

- Équiterre et Regroupement national des conseils régionaux de l'environnement (RNCREQ). (2015b). *Les changements climatiques coûtent cher. Notre inaction augmente ces coûts*. Repéré à <https://www.equiterre.org/sites/fichiers/fiche-04.pdf>
- Exchange-rate.org. (2020). Repéré à <https://fr.exchange-rates.org/Rate/USD/CAD/31-12-2015>
- Frantzeskaki, N., McPhearson, T., Collier, M. J., Kendal, D., Bulkeley, H., Dumitru, A., ... Pintér, L. (2019). Nature-Based Solutions for Urban Climate Change Adaptation: Linking Science, Policy, and Practice Communities for Evidence-Based Decision-Making. *BioScience*, 69(6), 455–466.
- Feix, I., Marquet, S. et Thibier, E. (2018). *Aménager avec la nature en ville*. Repéré à <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/amenager-avec-la-nature-en-ville-010658.pdf>
- García Sánchez, F., Solecki, W. D. et Ribalaygua Batalla, C. (2018). Climate change adaptation in Europe and the United States: A comparative approach to urban green spaces in Bilbao and New York City. *Land Use Policy*, 79, 164-173.
- Gauthier, C. (2014, 5 décembre). La définition des risques climatiques. *GAÏA Presse*. Repéré à <https://www.gaiapresse.ca/2014/12/la-definition-des-risques-climatiques/>
- Gauthier-Ouellet, M., Martel, M.-C. et Watremez, A. (2013). *Programme Climat municipalités. Quantification des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre des plans d'action municipaux*. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/programmes/climat-municipalites2/quantification-mesures-reduction-plans-municipaux.pdf>
- Gill, S., Handley, J., Ennos, A. et Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built Environment*, 3(1), 115-133.
- Giguère, M. (2010). *Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains : revue de littérature*. Repéré à [https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/988\\_MesuresIlotsChaleur.pdf](https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/988_MesuresIlotsChaleur.pdf)
- Gobeille, L. (2019, 4 août). Le point sur la forêt urbaine de Montréal. *Le Devoir*. Repéré à <https://www.ledevoir.com/vivre/jardinage/559853/jardin-le-point-sur-la-foret-urbaine-de-montreal>
- Göpfert, C., Wamsler, C. et Lang, W. (2019). A framework for the joint institutionalization of climate change mitigation and adaptation in city administrations. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24(1), 1-21.
- Gouvernement du Canada. (2020). *Progrès vers la cible de réduction des émissions de gaz à effet de serre du Canada. Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement*. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/progres-cible-reduction-emissions-gaz-effet-serre-Canada.html>
- Gouvernement du Québec. (2019). Engagements du Québec. Nos cibles de réduction d'émissions de GES. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/changementsclimatiques/engagement-quebec.asp>
- Grădinaru, S. R. et Hersperger, A. M. (2019). Green infrastructure in strategic spatial plans: Evidence from European urban regions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 17-28.

- Grafakos, S., Pacteau, C., Delgado, M., Landauer, M., Lucon, O., Paulo, S. et Driscoll, P. (2018). Opportunities and Challenges. Dans C. Rosenzweig, W. Solecki, P. Romero-Lankao, S. Mehrotra, S. Dhakal et S. Ali Ibrahim (dir.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network* (p. 101-138). Repéré à [http://uccrn.org/files/2019/09/ARC3.2-PDF-Chapter-4-Mitigation-and-Adaptation-wecompress.com\\_.pdf](http://uccrn.org/files/2019/09/ARC3.2-PDF-Chapter-4-Mitigation-and-Adaptation-wecompress.com_.pdf)
- Grafakos, S., Trigg, K., Landauer, M., Chelleri, L. et Dhakal, S. (2019). Analytical framework to evaluate the level of integration of climate adaptation and mitigation in cities. *Climatic Change*, 154(1-2), 87-106.
- GreenRoofs.com. (2020). Nathan Phillips Square Toronto City Hall Podium Green Roof. Repéré à <https://www.greenroofs.com/projects/nathan-phillips-square-toronto-city-hall-podium-green-roof/>
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2014). *Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité. Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Repéré à [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5\\_wgII\\_spm\\_fr-2.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_fr-2.pdf)
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2015). *Changements climatiques 2014. L'atténuation du changement climatique. Résumé à l'intention de décideurs et résumé technique. Contribution du groupe de travail III au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Repéré à [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIIAR5\\_SPM\\_TS\\_Volume\\_fr-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume_fr-1.pdf)
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2018). *Résumé à l'intention des décideurs. Réchauffement planétaire de 1,5 C. Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté*. Repéré à [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_fr.pdf)
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2019). *Résumé à l'intention des décideurs*. Dans H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanka, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (dir.), *Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique*. Repéré à [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/03\\_SROCC\\_SPM\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/03_SROCC_SPM_FINAL.pdf)
- Guilbault, J.-P. (2019, 20 avril). Les changements climatiques influencent le climat du Québec et l'intensité des inondations. *ICI-Radio Canada*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1165497/inondations-changements-climatiques-quebec-climat-pluie-neige-meteo-impact-riisq>
- Guyadeen, D., Thistlethwaite, J. et Henstra, D. (2019). Evaluating the quality of municipal climate change plans in Canada. *Climatic Change*, 152(1), 121-143.
- Hennessey, R., Pittman, J., Morand, A. et Douglas, A. (2017). Co-benefits of integrating climate change adaptation and mitigation in the Canadian energy sector. *Energy Policy*, 111, 214-221.



- Hughes, S. (2015). A meta-analysis of urban climate change adaptation planning in the U.S. *Urban Climate*, 14, 17-29.
- ICF. (2018). *Pratiques exemplaires et ressources relatives à l'infrastructure naturelle résistante au climat* (Numéro de rapport : PN1581). Repéré à [https://www.ccme.ca/files/Resourcess/climate\\_change/Natural\\_Infrastructure\\_Report\\_FR.pdf](https://www.ccme.ca/files/Resourcess/climate_change/Natural_Infrastructure_Report_FR.pdf)
- ICLEI et Fédération canadienne de municipalités (FCM). (2018). *Partners for Climate Protection National Measures Report 2018: How Canadian cities and communities are taking action on climate change*. Repéré à <https://icleicanada.org/wp-content/uploads/2019/07/pcp-national-measures-report-2018-en.pdf>
- ICLEI et Fédération canadienne de municipalités (FCM). (2019). *Protocole de PPC : Supplément Canadien au Protocole International d'Analyse des Émissions*. Repéré à <https://icleicanada.org/wp-content/uploads/2019/10/protocole-supplement-canadien-ppc.pdf>
- Juhola, S., Driscoll, P., Mendler de Suarez, J. et Suarez, P. (2013). Social strategy games in communicating trade-offs between mitigation and adaptation in cities. *Urban Climate*, 4, 102-116.
- Kavehei, E., Jenkins, G. A., Adame, M. F. et Lemckert, C. (2018). Carbon sequestration potential for mitigating the carbon footprint of green stormwater infrastructure. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 1179-1191.
- Kim, D. et Song, S.-K. (2019). The Multifunctional Benefits of Green Infrastructure in Community Development: An Analytical Review Based on 447 Cases. *Sustainability*, 11(14), 3917.
- Klein, R. J. T., Huq, S., Denton, F., Downing, T. E., Richels, R. G., Robinson, J. B. et Toth, F. L. (2007). Inter-relationships between adaptation and mitigation. Dans M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson (dir), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 745-777). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Ko, Y. (2018). Trees and vegetation for residential energy conservation: A critical review for evidence-based urban greening in North America. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34, 318-335.
- Landauer, M., Juhola, S. et Klein, J. (2019). The role of scale in integrating climate change adaptation and mitigation in cities. *Journal of Environmental Planning and Management*, 62(5), 741-765.
- Landauer, M., Juhola, S. et Söderholm, M. (2015). Inter-relationships between adaptation and mitigation: A systematic literature review. *Climatic Change*, 131(4), 505-517.
- Lapierre, E. et Pellerin, S. (2018). *Portrait des infrastructures vertes et des ouvrages phytotechnologiques dans l'agglomération de Montréal*. Repéré à [https://fondationespacepouirlavie.ca/wp-content/uploads/2019/08/Infrastructures-vertes\\_Ile-de-Montreal.pdf](https://fondationespacepouirlavie.ca/wp-content/uploads/2019/08/Infrastructures-vertes_Ile-de-Montreal.pdf)
- Larrivée, C., Sinclair-Desgagné, N., Da Silva, L., Desjarlais, C. et Revéret, J.-P. (2015). *Évaluation des impacts des changements climatiques et de leurs coûts pour le Québec et l'État québécois*. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/changementsclimatiques/evaluation-impacts-cc-couts-qc-etat.pdf>
- Laurikka, H. (2013). Synergies Between Mitigation and Adaptation Exist in Several Sectors. Repéré à <http://sdg.iisd.org/commentary/guest-articles/synergies-between-mitigation-and-adaptation-exist-in-several-sectors/>

- Lebel, G., Dubé, M. et Bustinza, R. (2019). Surveillance des impacts des vagues de chaleur extrême sur la santé au Québec à l'été 2018. *Bulletin d'information en santé environnementale*. Repéré à <https://www.inspq.qc.ca/bise/surveillance-des-impacts-des-vagues-de-chaleur-extreme-sur-la-sante-au-quebec-l-ete-2018#ref>
- Lesnikowski, A., Ford, J. D., Berrang-Ford, L., Barrera, M., Berry, P., Henderson, J. et Heymann, S. J. (2013). National-level factors affecting planned, public adaptation to health impacts of climate change. *Global Environmental Change*, 23(5), 1153-1163.
- Li, C., Peng, C., Chiang, P.-C., Cai, Y., Wang, X. et Yang, Z. (2019). Mechanisms and applications of green infrastructure practices for stormwater control: A review. *Journal of Hydrology*, 568, 626-637.
- Liu, W., Chen, W. et Peng, C. (2014). Assessing the effectiveness of green infrastructures on urban flooding reduction: A community scale study. *Ecological Modelling*, 291, 6-14.
- Locatelli, B., Fedele, G., Fayolle, V. et Baglee, A. (2016). Synergies between adaptation and mitigation in climate change finance. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 8(1), 112-128.
- Locatelli, B., Pavageau, C., Pramova, E. et Di Gregorio, M. (2015). Integrating climate change mitigation and adaptation in agriculture and forestry: Opportunities and trade-offs: Integrating climate change mitigation and adaptation in agriculture and forestry. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6(6), 585-598.
- Lyles, W., Berke, P. et Overstreet, K. H. (2018). Where to begin municipal climate adaptation planning? Evaluating two local choices. *Journal of Environmental Planning and Management*, 61(11), 1994-2014.
- Maison du développement durable (MDD). (s. d.). Qualité de l'air. Repéré à <https://lamdd.org/batiment/qualite-lair>
- Matthews, T., Lo, A. Y. et Byrne, J. A. (2015). Reconceptualizing green infrastructure for climate change adaptation: Barriers to adoption and drivers for uptake by spatial planners. *Landscape and Urban Planning*, 138, 155-163.
- Mauree, D., Naboni, E., Coccolo, S., Perera, A. T. D., Nik, V. M. et Scartezzini, J.-L. (2019). A review of assessment methods for the urban environment and its energy sustainability to guarantee climate adaptation of future cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 733-746.
- McAllister, L. K. (2011). Adaptive Mitigation in the Electric Power Sector. *Brigham Young University Law Review*, 6, 2115-2155.
- McPhearson, T., Karki, M., Herzog, C., Fink, H. S., Abbadie, L., Kremer, P.,... Dubbeling, M. (2018). Urban Ecosystems and Biodiversity. Dans C. Rosenzweig, W. D. Solecki, P. Romero-Lankao, S. Mehrotra, S. Dhakal et S. Ali Ibrahim (dir.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network* (p. 257-318). Repéré à [http://uccrn.org/files/2019/09/ARC3.2-PDF-Chapter-8-Ecosystems-and-Biodiversity-wecompress.com\\_.pdf](http://uccrn.org/files/2019/09/ARC3.2-PDF-Chapter-8-Ecosystems-and-Biodiversity-wecompress.com_.pdf)
- Meerow, S. et Newell, J. P. (2017). Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning*, 159, 62-75.

- Mei, C., Liu, J., Wang, H., Yang, Z., Ding, X. et Shao, W. (2018). Integrated assessments of green infrastructure for flood mitigation to support robust decision-making for sponge city construction in an urbanized watershed. *Science of the Total Environment*, 639, 1394-1407.
- Mi, Z., Guan, D., Liu, Z., Liu, J., Viguié, V., Fromer, N. et Wang, Y. (2019). Cities: The core of climate change mitigation. *Journal of Cleaner Production*, 207, 582-589.
- Michaud, C. (2018). Infrastructures vertes pour la gestion des eaux : Renforcer la communauté de pratique pour surmonter les barrières. Repéré à <https://agrcq.ca/dernieres-nouvelles/infrastructures-vertes-pour-la-gestion-des-eaux-renforcer-la-communaute-de-pratique-pour-surmonter-les-barrieres/>
- Milliken, S. (2018). Ecosystem Services in Urban Environments. Dans G. Pérez et K. Perini (dir.), *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability* (p. 17-27). Oxford, United Kingdom : Elsevier.
- Ministère de la Sécurité publique (MSP). (s. d.). *Inondations du printemps 2017. Bilan et perspectives*. Repéré à [https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite\\_civile/inondation/retrorspective\\_bilan\\_inondations2017.pdf](https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/inondation/retrorspective_bilan_inondations2017.pdf)
- Ministère de la Sécurité publique (MSP). (2013). Définitions, acronymes et sigles en sécurité civile. Repéré à <https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/definitions-acronymes-et-sigles.html>
- Ministère de l'environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2018). *Profil des émissions de gaz à effet de serre des organismes municipaux du Québec- Moyennes basées sur les résultats des municipalités participant au programme Climat municipalités (2009-2013)*. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/programmes/climat-municipalites2/profil-emissions.pdf>
- Ministère de l'environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2020). Programme Climat municipalités—Phase 2. Outils pour amorcer une démarche. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/programmes/climat-municipalites2/outils.htm>
- Monticone, K. (2018). Les corridors écologiques : Un moyen d'adaptation aux changements climatiques. *Le Naturaliste canadien*, 143(1), 107-112.
- Morita, K. et Matsumoto, K. (2018). Synergies among climate change and biodiversity conservation measures and policies in the forest sector: A case study of Southeast Asian countries. *Forest Policy and Economics*, 87, 59-69.
- Moser, S. C. et Ekstrom, J. A. (2010). A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(51), 22026-22031.
- Nature-Action Québec. (2020). *Plan de lutte contre les îlots de chaleur et le ruissellement. Ville de Beloeil*. Repéré à <https://beloeil.ca/wp-content/uploads/2020/02/Plan-de-lutte-contre-les-%C3%AEilots-de-chaleur-20-01-2020.pdf>

- Noble, I. R., Huq, S., Anokhin, Y., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F. P.,... Vilamizar, A. (2014). Adaptation Needs and Options. Dans C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir,... L.L. White (dir.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 833-868). Repéré à [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap14\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap14_FINAL.pdf)
- Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M. et Williams, N. S. G. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 134, 127-138.
- O'Neill, M.S., Carter, R., Kish, J.K., Gronlund, C., White-Newsome, J.L., Manarolla, X.,... Schwartz, J.D. (2009). Preventing heat-related morbidity and mortality: New approaches in a changing climate. *Maturitas*, 64(2), 98-103.
- Ouranos. (2010). *Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques. Guide destiné au milieu municipal québécois*. Repéré à [https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportLarriv%c3%a9e2010\\_FR.pdf](https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportLarriv%c3%a9e2010_FR.pdf)
- Ouranos. (2015a). *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie 1 : Évolution climatique au Québec*. Repéré à <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/SynthesePartie1.pdf>
- Ouranos. (2015b). *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie 2 : Vulnérabilités, impacts et adaptation aux changements climatiques*. Ouranos. Repéré à <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/SynthesePartie2.pdf>
- Ouranos. (2015c). *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie 3 : Vers la mise en œuvre de l'adaptation*. Repéré à <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/SynthesePartie3.pdf>
- Ouranos. (2016). *Quelques messages clés sur l'urgence de l'adaptation aux changements climatiques*. Repéré à <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Messages-cles-Adaptation.pdf>
- Ouranos. (2019). *Les villes et l'adaptation aux changements climatiques*. Ouranos. Repéré à [https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/FicheVille\\_FR.pdf](https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/FicheVille_FR.pdf)
- Pasimeni, M. R., Valente, D., Zurlini, G. et Petrosillo, I. (2019). The interplay between urban mitigation and adaptation strategies to face climate change in two European countries. *Environmental Science & Policy*, 95, 20-27.
- Pauleit, S., Andersson, E., Anton, B., Buijs, A., Haase, D., Hansen, R.,... Van der Jagt, S. (2019). Urban green infrastructure – connecting people and nature for sustainable cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 1-3.
- Peck, S. W. (2019). Lessons from Toronto Mandatory Greenroof By-law: A decade in the making and a decade making positive change. *Living Architecture Monitor*, 21(3), 26-29.
- Québec Vert. (s. d.). *Infrastructures vertes : Un verdissement raisonné*. Repéré à <https://quebecvert.com/milieu-municipal/environnement2/infrastructures-vertes-un-verdissement-raisonne2>

- Rayfield, B., Dupras, J., Francoeur, X., Dumitru, M., Dagenais, D., Vachon, J.,...Gonzalez, A. (2015). *Les infrastructures vertes : Un outil d'adaptation aux changements climatiques pour le Grand Montréal*. Repéré à <https://fr.davidsuzuki.org/wp-content/uploads/sites/3/2015/11/Infrastructures-vertes-outil-adaptation-changements-climatiques-Montre%CC%81al.pdf>
- Razzaghmanesh, M., Beecham, S. et Salemi, T. (2016). The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 15, 89-102.
- Reckien, D., Flacke, J., Dawson, R. J., Heidrich, O., Olazabal, M., Foley, A.,...Pietrapertosa, F. (2014). Climate change response in Europe: What's the reality? Analysis of adaptation and mitigation plans from 200 urban areas in 11 countries. *Climatic Change*, 122(1-2), 331-340.
- Reckien, D., Flacke, J., Olazabal, M. et Heidrich, O. (2015). The Influence of Drivers and Barriers on Urban Adaptation and Mitigation Plans — An Empirical Analysis of European Cities. *PLOS ONE*, 10(8), e0135597.
- Reckien, D., Salvia, M., Heidrich, O., Church, J. M., Pietrapertosa, F., De Gregorio-Hurtado, ... Dawson, R. (2018). How are cities planning to respond to climate change? Assessment of local climate plans from 885 cities in the EU-28. *Journal of Cleaner Production*, 191, 207-219.
- Ressources naturelles Canada (RNCAN). (2015). Planification de l'Adaptation. Repéré à <https://www.rncan.gc.ca/environnement/ressources/publications/impacts-adaptation/outils-guides/11081>
- Rivard, G. (2017, décembre). *Intégration des infrastructures vertes aux systèmes de drainage urbain : Barrières, opportunités et défis*. Communication présentée au 23<sup>e</sup> congrès Infra 2017, Montréal, Québec. Résumé repéré à [https://ceriu.qc.ca/system/files/2018-02/E2.1\\_INFRA2017\\_GRivard\\_V1\\_16\\_9.pdf](https://ceriu.qc.ca/system/files/2018-02/E2.1_INFRA2017_GRivard_V1_16_9.pdf)
- Rosenzweig, C., Solecki, W., Romero-Lankao, P., Mehrotra, S., Dhakal, S. et Ibrahim, S. A. (2018). Pathways to Urban Transformation. Dans C. Rosenzweig, W. D. Solecki, P. Romero-Lankao, S. Mehrotra, S. Dhakal et S. Ali Ibrahim (dir.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network* (p. 3-26). Repéré à <http://uccrn.org/files/2019/09/ARC3.2-PDF-Chapter-1-Pathways-to-Urban-Transformation.pdf>
- Saint-Arnaud, P. (2019, 24 décembre). Les inondations printanières, l'événement climatique de 2019. *Le Devoir*. Repéré à <https://www.ledevoir.com/societe/569720/les-inondations-printanieres-l-evenement-climatique-de-2019>
- Santiago Fink, H. (2016). Human-Nature for Climate Action: Nature-Based Solutions for Urban Sustainability. *Sustainability*, 8(3), 254.
- Scholefield, M. (2018, décembre). *Rain City Strategy: Making Green Infrastructure Mainstream in Vancouver*. Communication présentée au Séminaire PWRC, Burnaby, Colombie-Britannique. Résumé repéré à <https://www.sfu.ca/pwrc/events/2018/rain-city.html>
- Serkine, P. (2015). Le risque de maladaptation au changement climatique : un enjeu pour la rentabilité des investissements ? *Revue d'économie Financière*, 117(1), 75.

- Shafique, M., Kim, R. et Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 757-773.
- Shaw, A., Burch, S., Kristensen, F., Robinson, J. et Dale, A. (2014). Accelerating the sustainability transition: Exploring synergies between adaptation and mitigation in British Columbian communities. *Global Environmental Change*, 25, 41-51.
- Shrestha, S. et Dhakal, S. (2019). An assessment of potential synergies and trade-offs between climate mitigation and adaptation policies of Nepal. *Journal of Environmental Management*, 235, 535-545.
- Sidi, P. (2012). Integrated Climate Actions: Linking Mitigation and Adaptation to Make Indonesian Cities Resilient. Dans K. Otto-Zimmermann (dir.), *Cities and Adaptation to Climate Change-Proceedings of the Global Forum 2011* (Vol. 2, p. 349-357). Dordrecht Heidelberg New York London : Springer
- Simard, C., L'Ecuyer-Sauvageau, C., Bissonnette, J.-F. et Dupras, J. (2018). Le rôle des infrastructures naturelles pour la gestion des eaux de ruissellement et des crues dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques. *Le Naturaliste canadien*, 143(1), 25-31.
- SNC-Lavalin. (2013). *Ville de Trois-Rivières. Plan d'adaptation aux changements climatiques* (Rapport final, Numéro de projet : 606418). Repéré à [https://contenu.maruche.ca/Fichiers/d477a882-4a53-e611-80ea-00155d09650f/Sites/c32c511f-925d-e611-80ea-00155d09650f/Documents/Plan\\_d\\_adaptation\\_aux\\_changements\\_climatiques.pdf](https://contenu.maruche.ca/Fichiers/d477a882-4a53-e611-80ea-00155d09650f/Sites/c32c511f-925d-e611-80ea-00155d09650f/Documents/Plan_d_adaptation_aux_changements_climatiques.pdf)
- Société de verdissement du Montréal métropolitain (Soverdi). (s. d.). Verdir différemment. Repéré à <https://soverdi.org/approche/plandaction#>
- Société de verdissement du Montréal métropolitain (Soverdi). (2013). *Mise en œuvre du plan d'action canopée. Volet privé et institutionnel. Phase 1—Lancement et priorité à l'Est*. Repéré à <https://ocpm.qc.ca/sites/ocpm.qc.ca/files/pdf/P70/9a14a.pdf>
- Société de verdissement du Montréal métropolitain (Soverdi). (2018). *Rapport annuel 2018*. Repéré à <https://firebasestorage.googleapis.com/v0/b/soverdiwebsite-dev.appspot.com/o/nouvelles%2FRapport%20annuel%202018%2Fpdf?alt=media&token=36b887b8-72f2-44ac-85e8-60653d93e6cc>
- Société québécoise de phytotechnologie. (2017). Que sont les phytotechnologies ? Repéré à <http://www.phytotechno.com/definitions/>
- Solecki, W., Seto, K. C., Balk, D., Bigio, A., Boone, C. G., Creutzig, F.,... Zwickel, T. (2015). A conceptual framework for an urban areas typology to integrate climate change mitigation and adaptation. *Urban Climate*, 14, 116-137.
- Stand, B. et Peck, S. W. (2019). *2018 Annual Green Roof Industry Survey. Executive Summary*. Repéré à <https://static1.squarespace.com/static/58e3eef2994ca997dd56381/t/5d9e0f082012f31031312490/1570639629893/GreenRoofIndustrySurvey2019ExecutiveSummary.pdf>
- St-Cyr, J. (2018, 22 mai). Toitures en verdure. *Radio-Canada*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1101799/avantages-toits-verts-alberta-ville-urbain>
- Stetter, E. (2016, 21 juin). Climat : Atténuation et adaptation, c'est quoi ? *Huffpost*. Repéré à [https://quebec.huffingtonpost.ca/ernst-stetter/changement-climatique-attenuation-et-adaptation\\_b\\_7623398.html](https://quebec.huffingtonpost.ca/ernst-stetter/changement-climatique-attenuation-et-adaptation_b_7623398.html)

- Stevens, M. R. et Senbel, M. (2017). Are municipal land use plans keeping pace with global climate change? *Land Use Policy*, 68, 1-14.
- Stults, M. et Woodruff, S. C. (2017). Looking under the hood of local adaptation plans: Shedding light on the actions prioritized to build local resilience to climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 22(8), 1249-1279.
- Sussams, L. W., Sheate, W. R. et Eales, R. P. (2015). Green infrastructure as a climate change adaptation policy intervention: Muddying the waters or clearing a path to a more secure future? *Journal of Environmental Management*, 147, 184-193.
- The Atmospheric Fund (TAF). (2018). *Keeping Track: 2015 Carbon Emissions in the Greater Toronto and Hamilton Area*. Repéré à [http://taf.ca/wp-content/uploads/2018/09/TAF\\_GTHA\\_Emissions\\_Inventory\\_Report\\_2018-Final.pdf](http://taf.ca/wp-content/uploads/2018/09/TAF_GTHA_Emissions_Inventory_Report_2018-Final.pdf)
- Tollin, N., Hamhaber, J., Grafakos, S., Lwasa, S. et Morato, J. (2017). *Sustainable Urbanization in the Paris Agreement. Comparative Review of Nationally Determined Contributions for Urban Content*. Repéré à [https://new.unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Paris%20Agreement\\_15\\_May-2018\\_for%20Email-Online.pdf](https://new.unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Paris%20Agreement_15_May-2018_for%20Email-Online.pdf)
- Tran, Y. L., Siry, J. P., Bowker, J. M. et Poudyal, N. C. (2018). The Role of the U.S. Mayors and Urban Forest in Addressing Climate Change Mitigation and Adaptation. *Mathematical and Computational Forestry & Natural Resources Sciences*, 2(10), 33-45.
- Union pour la conservation de la Nature France (UICN France). (2018). *Les solutions fondées sur la Nature pour lutter contre les changements climatiques et réduire les risques naturels en France*. Repéré à <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2018/06/brochure-sfn-mai2018-web-ok.pdf>
- United Nations Department for Economic and Social Affairs (UN-DESA). (2019). *World Urbanization Prospects 2018: Highlights*. Repéré à <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>
- Valois, P., Jacob, J., Mehriez, K., Talbot, D., Renaud, J.-S. et Caron, M. (2017). *Niveau et déterminants de l'adaptation aux changements climatiques dans les municipalités du Québec* (Rapport de projet de recherche, numéro de rapport : OQACC-006). Repéré à [http://www.monclimatmasante.qc.ca/Data/Sites/1/publications/Rapport\\_municipalites\\_2\\_13\\_nov\\_FINALE.pdf](http://www.monclimatmasante.qc.ca/Data/Sites/1/publications/Rapport_municipalites_2_13_nov_FINALE.pdf)
- Vásquez, A., Giannotti, E., Galdámez, E., Velásquez, P. et Devoto, C. (2019). Green Infrastructure Planning to Tackle Climate Change in Latin American Cities. Dans C. Henríquez et H. Romero (dir.), *Urban Climates in Latin America* (p. 329-354). New York, United States : Springer Publishing.
- Vieira, J., Matos, P., Mexia, T., Silva, P., Lopes, N., Freitas, C.,...Pinho, P. (2018). Green spaces are not all the same for the provision of air purification and climate regulation services: The case of urban parks. *Environmental Research*, 160, 306-313.
- Ville de Beloeil. (2014). *Politique environnementale de Beloeil : Orientations stratégiques et plan d'action*. Repéré à <https://beloeil.ca/wp-content/uploads/2019/03/Politique-environnementale-septembre-2014.pdf>
- Ville de Beloeil. (2020). Revitalisation de la rue Duvernay. Repéré à <https://beloeil.ca/decouvrir/a-propos-de-la-ville/grands-projets/revitalisation-de-la-rue-duvernay/>

- Ville de Montréal. (s. d.a). Indice de canopée à Montréal. Repéré à [https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=7377,91101669&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7377,91101669&_dad=portal&_schema=PORTAL)
- Ville de Montréal. (s. d.b). La canopée et les îlots de chaleur. Repéré à [https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=7377,91101652&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7377,91101652&_dad=portal&_schema=PORTAL)
- Ville de Montréal. (s. d.c). *Parc Angrignon*. Repéré à [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=7377,143293531&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL&id=70](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7377,143293531&_dad=portal&_schema=PORTAL&id=70)
- Ville de Montréal. (2005). *Politique de l'arbre de Montréal*. Ville de Montréal. Repéré à [https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/grands\\_parcs\\_fr/media/documents/politique\\_de\\_arbre\\_\(2005\).pdf](https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/grands_parcs_fr/media/documents/politique_de_arbre_(2005).pdf)
- Ville de Montréal. (2017). *Plan d'adaptation aux changements climatiques de l'agglomération de Montréal 2015 -2020. Les Constats*. Repéré à [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/enviro\\_fr/media/documents/paccam\\_2015-2020\\_lesconstats.pdf](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/enviro_fr/media/documents/paccam_2015-2020_lesconstats.pdf)
- Ville de Montréal. (2018). Rapport Montréal durable : Gaz à effet de serre. Repéré à <https://ville.montreal.qc.ca/rapportmontrealdurable/gaz-effet-de-serre.php#ges-1>
- White, T. (s. d.). *Toronto's Green Roof Policy. A Review of the Process and Product*. Repéré à [http://spacing.ca/vancouver/wp-content/uploads/sites/6/2013/03/TatianaWhite\\_TOGreenRoofPolicy.pdf](http://spacing.ca/vancouver/wp-content/uploads/sites/6/2013/03/TatianaWhite_TOGreenRoofPolicy.pdf)
- Wood, S., Dupras, J., Delagrangé, S., Voyer, A., Gélinas, N. et Da Silva, L. (2018). *La valeur économique des services écosystémiques rendus par les arbres municipaux de la ville de Québec* (Rapport final). Repéré à <https://ouranos.ca/publications-scientifique/RapportVilleQuebec2019.pdf>
- WWF Canada. (2019). Nos forêts urbaines sont-elles en bonne santé? Repéré à <https://journalmetro.com/dossiers/publications-specialisees/2177297/nos-forets-urbaines-sont-elles-en-bonne-sante/>
- Xu, L., Wang, X., Liu, J., He, Y., Tang, J., Nguyen, M., et Cui, S. (2019). Identifying the trade-offs between climate change mitigation and adaptation in urban land use planning: An empirical study in a coastal city. *Environment International*, 133, 105162.
- Zaid, S. M., Perisamy, E., Hussein, H., Myeda, N. E. et Zainon, N. (2018). Vertical Greenery System in urban tropical climate and its carbon sequestration potential: A review. *Ecological Indicators*, 91, 57-70.
- Zhao, C., Yan, Y., Wang, C., Tang, M., Wu, G., Ding, D. et Song, Y. (2018). Adaptation and mitigation for combating climate change – from single to joint. *Ecosystem Health and Sustainability*, 4(4), 85-94.
- Zölch, T., Maderspacher, J., Wamsler, C. et Pauleit, S. (2016). Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 305-316.



## BIBLIOGRAPHIE

- Berry, P.M., Brown, S., Chen, M., Kontogianni, A., Rowlands, O., Simpson, G. et Skourtos, M. (2015). Cross-sectoral interactions of adaptation and mitigation measures. *Climatic Change*, 128: 281-393.
- Bertrand, F. et Simonet, G. (2012). Les trames vertes urbaines et l'adaptation au changement climatique : perspectives pour l'aménagement du territoire. *VertigO*, (Hors-série 12).
- Biesbroek, G. R., Swart, R. J. et van der Knaap, W. G. M. (2009). The mitigation–adaptation dichotomy and the role of spatial planning. *Habitat International*, 33(3), 230-237.
- Brun, C. (2019). *Pour des villes durables : Une rue à la fois*. (Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec). Repéré à [https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/15806/Brun\\_Camille\\_MEnv\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/15806/Brun_Camille_MEnv_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Carter, J. G., Cavan, G., Connelly, A., Guy, S., Handley, J. et Kazmierczak, A. (2015). Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation. *Progress in Planning*, 95, 1-66.
- Charoenkit, S. et Yiemwattana, S. (2016). Living walls and their contribution to improved thermal comfort and carbon emission reduction: A review. *Building and Environment*, 105, 82-94.
- Crevier-Lapointe, L. (2016). *Relier les mesures d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques : La situation des régions côtières du Québec* (Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec). Repéré à [https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/8892/Crevier\\_Lapointe\\_Lea\\_MENV\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/8892/Crevier_Lapointe_Lea_MENV_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Grenon Gilbert, E. (2019). *Gouvernance municipale et l'intégration des biens et services écologiques* (Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec). Repéré à [https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/item/17519/Grenon\\_Gilbert\\_Emile\\_MEnv\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/item/17519/Grenon_Gilbert_Emile_MEnv_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Russo, A., Escobedo, F. J., Timilsina, N. et Zerbe, S. (2015). Transportation carbon dioxide emission offsets by public urban trees: A case study in Bolzano, Italy. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(2), 398-403.
- Sylvestre-Loubier, M.-A. (2019). *Analyse de l'intégration de mesures de gestion durable des eaux pluviales aux outils d'aménagement du territoire*. (Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec). Repéré à [https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/15615/Sylvestre\\_Loubier\\_Marie\\_Anne\\_MEnv\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/15615/Sylvestre_Loubier_Marie_Anne_MEnv_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Voskamp, I. M. et Van de Ven, F. H. M. (2015). Planning support system for climate adaptation: Composing effective sets of blue-green measures to reduce urban vulnerability to extreme weather events. *Building and Environment*, 83, 159-167.